МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

В. М. Евстигнеев
Д. В. Магрицкий

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО КУРСУ

«РЕЧНОЙ СТОК И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ»

Географический факультет МГУ
2013

УДК 556.53:70.03
ББК 26.28
Е26

Рецензенты: д-р геогр. наук А. В. Христофоров
канд. геогр. наук Д. Н. Айбулатов

Печатается по постановлению
Ученого совета географического факультета
Московского государственного университета
имени М. В. Ломоносова

Евстигнеев В. М., Магрицкий Д. В.

Е26 **Практические работы по курсу «РЕЧНОЙ СТОК И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ»:** Учебное пособие. 3-е изд. – М.: Географический факультет МГУ, 2013. – 108 с.

ISBN 978–5–89575–217–3

Цель пособия научить студентов основным приемам расчетов речного стока, необходимых в практике строительного проектирования и водохозяйственного планирования. Оно составлено в строгом соответствии с современными строительными нормами и действующими нормативными документами. Весь цикл практических работ содержит 25 заданий с необходимыми номограммами, таблицами и картосхемами.

Для студентов географического факультета Московского государственного университета, обучающихся по профилю «Гидрология» направления подготовки 021600 Гидрометеорология. Может быть полезно для студентов других гидрометеорологических профилей подготовки.

УДК 556.53:70.03
ББК 26.28

© Евстигнеев В. М., Магрицкий Д. В., 2013
© Географический факультет МГУ, 2013
ISBN 978–5–89575–217–3

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие предназначено для студентов кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ, выполняющих практические работы по курсу «Речной сток и гидрологические расчеты». От 2-го издания (В. М. Евстигнеев «Практические работы по курсу «Речной сток и гидрологические расчеты», 1991) его отличает учет новых требований по определению основных гидрологических характеристик и появившихся новых приемов в решении ряда задач по расчету характеристик стока, а также бóльший объем вспомогательного материала.

Практикум состоит из 25 заданий. Задания объединены в пять тем таким образом, чтобы охватить основные виды расчетов стока, необходимые в практике строительного проектирования. На выполнение всех заданий требуется около 50 часов. Поскольку по учебному плану на практические работы отведено меньшее количество часов, часть заданий по усмотрению преподавателя может быть опущена, либо выполнена студентами самостоятельно.

При составлении пособия использованы действующие строительные нормы, так называемый свод правил – СП 33-101-2003, и методические руководства по определению гидрологических характеристик, разработанные Государственным гидрологическим институтом. Необходимые выкопировки карт, таблиц и графиков из соответствующих руководств, таблицы большого объема приведены в Приложении. Картографические материалы даны для сравнительно небольшой территории – центра европейской части РФ (и сопредельных районов Украины и Белоруссии) с тем, чтобы избежать уменьшения масштаба карт гидрологических параметров и включения в пособие большого объема графических материалов.

Задания сопровождаются примечаниями, в которых содержится справочная информация, часто не имеющая отношения к заданию, но позволяющая студенту разобраться в положениях действующего СП 33-101-2003 и особенностях их практической реализации.

Все задания выполняются студентами письменно. К каждому заданию студенты составляют краткую пояснительную записку, в которой указываются цели работы и исходные данные, излагается последовательность расчетов (с приведением соответствующих формул) и анализ точности полученных данных. Текст и сопровождающие его таблицы и графики (которые обязательно нумеруют и подписывают) помещаются на листах стандартного формата А4. К каждому заданию прилагается титульный лист (Приложение А).

За помощь в подготовке практикума и ценные советы авторы считают необходимым выразить благодарность и глубокую признательность сотруднику кафедры гидрологии суши географического факультета Шенберг Н. В.

ТЕМА I. ГОДОВОЙ СТОК

Задание 1. Оценка параметров функции распределения вероятностей и построение кривых обеспеченности годового стока по гидрометрическим данным

Требуется:

- определить параметры кривой обеспеченности методами моментов, наибольшего правдоподобия и графоаналитическим; сравнить полученные тремя методами оценки среднемноголетнего расхода Q_0, коэффициента вариации C_v и коэффициента асимметрии C_s;
- определить расходы воды обеспеченности 10, 25, 50, 75, 80, 90, 95%.

Дано:

- ряд среднегодовых расходов воды (дается преподавателем или выписывается студентом самостоятельно из Гидрологических ежегодников и других справочных изданий);
- номограмма для определения C_v и C_s/C_v методом приближенного наибольшего правдоподобия;
- таблица для вычисления C_v методом приближенного наибольшего правдоподобия при закрепленном C_s/C_v (Приложение Б.3);
- районный коэффициент автокорреляции r_1 (сообщается преподавателем): величину r_1 для годового стока в первом приближении можно принять в пределах от 0,21 до 0,24 согласно сведениям из [11] (Приложение 2, табл. 5а – данные по равнинной части ЕТР);
- таблицы ординат трехпараметрического гамма-распределения и таблицы нормированных отклонений ординат биномиальной кривой (Приложения Б.1, Б.2).

Порядок выполнения

1. Расположить в убывающем порядке (ранжировать) среднегодовые расходы воды, и для каждого расхода рассчитать его эмпирическую обеспеченность по формуле:

$$P_m = \frac{m}{n+1}100\%, \qquad (1.1)$$

где m – номер расхода в убывающем порядке величин, n – длина ряда. Построить *эмпирическую кривую обеспеченности* среднегодовых расходов воды (путем нанесения на клетчатку вероятностей эмпирических точек) и провести по точкам *сглаженную эмпирическую кривую обеспеченности* (рис. 1).

С учетом данных табл. 1 нанести на график доверительные интервалы для эмпирических оценок обеспеченности наибольшего и наименьшего члена ряда наблюдений.

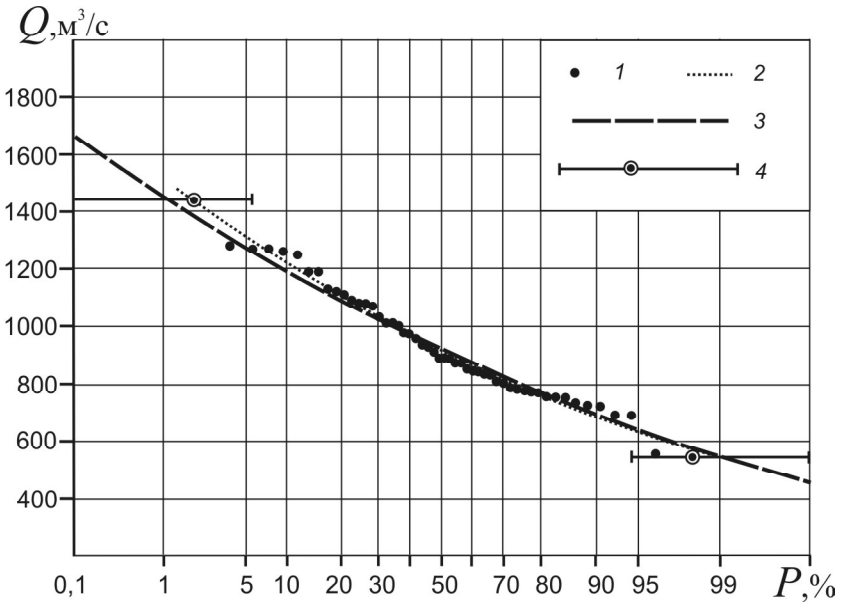


Рис. 1. *Эмпирическая (1, 2) и теоретическая (3) кривые обеспеченности среднегодовых расходов воды р. Яны (пост Джангкы) с указанием доверительных интервалов (4) для эмпирических оценок обеспеченности наибольшего и наименьшего члена ряда*

Таблица 1

Доверительные интервалы для эмпирической ежегодной вероятности превышения (табл. Б2 в [14])

Вероятность доверительного интервала, %	Число лет наблюдений n						
	10	20	30	40	50	60	80
	Для наибольшего члена ряда						
5	0,5	0,27	0,20	0,15	0,10	0,09	0,07
95	25,9	13,4	9,8	7,7	6,0	5,0	3,7
	Для наименьшего члена ряда						
5	74,1	87,0	90,0	92,2	94,0	95,0	96,3
95	99,50	99,72	99,81	99,86	99,90	99,91	99,93

2. По имеющемуся ряду среднегодовых расходов воды *методом моментов* оценить Q_0, $\widetilde{C}_v$ и $\widetilde{C}_s$:

$$Q_0 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Q_i, \qquad (1.2)$$

$$\widetilde{C}_v = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n-1}}, \qquad (1.3)$$

$$\widetilde{C}_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)}\frac{\sum (K_i - 1)^3}{\widetilde{C}_v^3}, \qquad (1.4)$$

где K_i – модульные коэффициенты $K_i = Q_i/Q_0$. Расчет выборочных параметров распределения и эмпирических обеспеченностей выполнять в табл. 2.

Учесть поправки на систематическое смещение оценок $\widetilde{C}_v$ и $\widetilde{C}_s$, пересчитав их по формулам:

$$C_v = \left(a_1 + \frac{1}{n}a_2\right) + \left(a_3 + \frac{1}{n}a_4\right)\widetilde{C}_v + \left(a_5 + \frac{1}{n}a_6\right)\widetilde{C}_v^2, \qquad (1.5)$$

$$C_s = \left(b_1 + \frac{1}{n}b_2\right) + \left(b_3 + \frac{1}{n}b_4\right)\widetilde{C}_s + \left(b_5 + \frac{1}{n}b_6\right)\widetilde{C}_s^2, \qquad (1.6)$$

где $a_1,\ldots,a_6$ и $b_1,\ldots,b_6$ – коэффициенты, определяемые по табл. 3 и 4.

Таблица 2

Пример расчета ординат эмпирической кривой обеспеченности и выборочных параметров распределения среднегодовых расходов воды

Год	Q_i, м³/с	$K_i = Q_i/\overline{Q}$	K_i-1	$(K_i-1)^2$	$(K_i-1)^3$	$\lg K_i$	$K_i \lg K_i$	m	Q_m, м³/с	$P_m(x) = \frac{m\times 100\%}{n+1}$
1938	84,1	0,90	–0,10	0,010	–0,001	–0,046	–0,041	1	144	1,9
1939	92,7	0,99	–0,01	0,000	0,000	–0,003	–0,003	2	128	3,8
1940	88,7	0,95	–0,05	0,003	0,000	–0,022	–0,021	3	127	5,7
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
1985	144	1,54	0,54	0,293	0,159	0,188	0,290	48	71,9	90,6
1986	68,7	0,74	–0,26	0,070	–0,018	–0,133	–0,098	49	68,9	92,5
1987	76,9	0,82	–0,18	0,031	–0,006	–0,084	–0,070	50	68,7	94,3
1988	111	1,19	0,19	0,036	0,007	0,075	0,089	51	55,4	96,2
1989	126	1,35	0,35	0,122	0,043	0,130	0,175	52	54,3	98,1
1938–89	$\overline{Q}$=93,4			Сумма 2,320	Сумма 0,198	Сумма –0,509	Сумма 0,493	n=52		

Таблица 3

Значения коэффициентов $a_1,\ldots,a_6$ (Приложение 2 в [14])

C_s/C_v	r_1	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
2	0	0	0,19	0,99	–0,88	0,01	1,54
	0,3	0	0,22	0,99	–0,41	0,01	1,51
	0,5	0	0,18	0,98	0,41	0,02	1,47
3	0	0	0,69	0,98	–4,34	0,01	6,78
	0,3	0	1,15	1,02	–7,53	–0,04	12,4
	0,5	0	1,75	1,00	–11,8	–0,05	21,1
4	0	0	1,36	1,02	–9,68	–0,05	15,6
	0,3	–0,02	2,61	1,13	–19,8	–0,22	34,2
	0,5	–0,02	3,47	2,18	–29,7	–0,41	58,1

Таблица 4

Значения коэффициентов $b_1,\ldots,b_6$ (Приложение 3 в [14])

r_1	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
0	0,03	2,00	0,92	-5,09	0,03	8,10
0,3	0,03	1,77	0,93	-3,45	0,03	8,03
0,5	0,03	1,63	0,92	-0,97	0,03	7,94

3. *Методом наибольшего правдоподобия* оценить C_v и C_s/C_v. Q_0 рассчитать по формуле (1.2). Оценки C_v и C_s/C_v определяются по номограммам через статистики λ_2 и λ_3, где $\lambda_2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} \lg K_i$, $\lambda_3 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} K_i \lg K_i$.

3*а*. Этим же методом определить C_v при закрепленном C_s/C_v по Приложению Б.3. Для годового стока и для рассматриваемого района (бассейн Оки и Верхней Волги) C_s/C_v принять равным 2 согласно обобщению в виде карты листа 4 из пособия [1].

Вообще расчетные значения C_s/C_v и r_1 следует принимать как среднее из значений, установленных по данным группы рек с наиболее продолжительными наблюдениями в гидрологически однородном районе, или методом группового анализа согласно пп. 5.7–5.10 в [14].

4. Оценить Q_0, C_v и C_s *графоаналитическим метод*ом. Для этого снять со сглаженной эмпирической кривой обеспеченности

(см. п.1) значения квантилей $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$ и $Q_{95\%}$ и вычислить коэффициент скошенности S:

$$S = \frac{Q_{5\%} + Q_{95\%} - 2Q_{50\%}}{Q_{5\%} - Q_{95\%}}. \qquad (1.7)$$

Из табл. 5 выписать значения C_s и нормированных отклонений $\Phi_{5\%}$–$\Phi_{95\%}$ и $\Phi_{50\%}$ в зависимости от S и вычислить среднее квадратическое отклонение $\sigma = \frac{Q_{5\%} - Q_{95\%}}{\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}}$, средний многолетний расход воды $Q_0 = Q_{50\%} - \sigma\Phi_{50\%}$, коэффициент вариации $C_v = \sigma / Q_0$.

С учетом полученных параметров Q_0, C_v, C_s, используя данные Приложения Б.2, рассчитать по формуле $Q_P = Q_0(1 + C_v\Phi_P)$ ординаты и построить кривую обеспеченности Пирсона III типа. Теоретическую (аналитическую) кривую нанести на график с эмпирическими точками и сглаженной кривой обеспеченности (рис. 1).

Таблица 5

Вспомогательная таблица для расчета параметров кривой обеспеченности графоаналитическим методом

S	C_s	$\Phi_{5\%}$–$\Phi_{95\%}$	$\Phi_{50\%}$	S	C_s	$\Phi_{5\%}$–$\Phi_{95\%}$	$\Phi_{50\%}$
0,00	0,00	3,28	0,00	0,59	2,10	2,92	-0,32
0,03	0,10	3,28	-0,02	0,62	2,20	2,89	-0,33
0,06	0,20	3,28	-0,03	0,64	2,30	2,86	-0,34
0,08	0,30	3,27	-0,05	0,67	2,40	2,82	-0,35
0,11	0,40	3,27	-0,07	0,69	2,50	2,79	-0,36
0,14	0,50	3,26	-0,08	0,72	2,60	2,76	-0,37
0,17	0,60	3,25	-0,10	0,74	2,70	2,74	-0,38
0,20	0,70	3,24	-0,12	0,76	2,80	2,71	-0,39
0,22	0,80	3,22	-0,13	0,78	2,90	2,68	-0,39
0,25	0,90	3,21	-0,15	0,80	3,00	2,64	-0,40
0,28	1,00	3,20	-0,16	0,81	3,10	2,62	-0,40
0,31	1,10	3,17	-0,18	0,83	3,20	2,59	-0,41
0,34	1,20	3,16	-0,19	0,85	3,30	2,56	-0,41
0,37	1,30	3,14	-0,21	0,86	3,40	2,53	-0,41
0,39	1,40	3,12	-0,22	0,87	3,50	2,50	-0,41
0,42	1,50	3,09	-0,24	0,89	3,60	2,48	-0,42
0,45	1,60	3,07	-0,25	0,90	3,70	2,45	-0,42
0,48	1,70	3,04	-0,27	0,91	3,80	2,43	-0,42
0,51	1,80	3,01	-0,28	0,92	3,90	2,41	-0,41
0,54	1,90	2,98	-0,29	0,93	4,10	2,38	-0,41
0,57	2,00	2,95	-0,31	0,94	4,30	2,34	-0,40

5. Вычислить среднеквадратические погрешности выборочных оценок параметров Q_0

$$E_{Q_0} = \frac{100C_v}{\sqrt{n}}\sqrt{\frac{1+r_1}{1-r_1}}, \% \qquad (1.8)$$

и C_v, полученные методом моментов:

$$\sigma_{C_v} = \frac{C_v}{n + 4C_v^2}\sqrt{\frac{n(1+C_v^2)}{2}}\left(1 + \frac{3C_v r_1^2}{1+r_1}\right) \qquad (1.9)$$

и методом наибольшего правдоподобия (без учета r_1):

$$\sigma_{C_v} = \frac{C_v}{\sqrt{2n}}\sqrt{\frac{3}{3+C_v^2}}. \qquad (1.10)$$

Вычислить погрешность оценки коэффициента C_s, полученной методом моментов:

$$\sigma_{C_s} = \sqrt{\frac{6}{n}\left(1 + C_v^2\right)}. \qquad (1.11)$$

Погрешности оценок графоаналитическим методом примерно одинаковы с методом моментов. Вообще формулы (1.8)–(1.11) обычно применяют для случаев r_1<0,5 и $C_s / C_v = 2$. В остальных случаях и для определения случайных погрешностей других параметров следует использовать таблицы из [13], полученные методом статистических испытаний.

6. Сравнить оценки Q_0, C_v и C_s, полученные тремя различными методами, с учетом погрешностей определения.

Допустимый предел точности для годового и сезонного стока – 10%, для максимального и минимального стока – 20%.

7. Построить аналитическую кривую гамма-распределения по параметрам, полученным в пп. 2–3а, и используя значения ординат в Приложении Б.1 ($Q_P = Q_0 K_P$). Кривую построить на отдельном листе; предварительно на него (клетчатку вероятностей) нанести эмпирические точки.

Аналитическая кривая должна хорошо аппроксимировать эмпирические точки.

8. Произвести оценку точности расчета расходов различной обеспеченности по данным, полученным методом статистических испытаний [13]. Среднеквадратическая погрешность выборочного квантиля определяется по формуле:

$$\sigma_{K_P} = E_P \Big/ n^{\alpha}, \qquad (1.12)$$

в которой значения E_P и α определяются в зависимости от C_v, C_s/C_v, r_1 и P. В диапазоне C_v от 0,1 до 0,7 можно α принять 0,5. Значения E_P для $C_s=2C_v$ и $r_1=0$ приведены в табл. 6. Относительную ошибку определения квантиля оценить как:

$$\varepsilon_{K_P} = \frac{\sigma_{K_P}}{K_P} 100\%. \qquad (1.13)$$

Таблица 6

Значения $E_P = \sigma_{K_P} n^{\alpha}$ при двух параметрах (Q_0 и C_v), определяемых по выборочным данным [13]

P, %	C_v						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
10	0,15	0,30	0,50	0,70	0,90	1,30	1,35
25	0,12	0,20	0,35	0,50	0,62	0,76	0,90
50	0,10	0,20	0,30	0,39	0,48	0,57	0,66
75	0,11	0,21	0,30	0,37	0,44	0,50	0,54
80	0,11	0,22	0,30	0,37	0,43	0,48	0,52
90	0,13	0,23	0,32	0,38	0,42	0,44	0,45
95	0,14	0,24	0,33	0,37	0,41	0,41	0,41

Задание 2. Оценка репрезентативности периода наблюдений

Требуется:

- построить разностно-интегральную кривую стока по исследуемой реке и реке-аналогу и оценить репрезентативность периода наблюдений для расчетного створа.

Дано:

- ряд среднегодовых расходов воды по опорному створу N лет;
- коэффициент вариации годового стока расчетного створа $C_{v_{\text{расч}}}$ из задания 1.

Порядок выполнения

1. По ряду-аналогу вычислить модульные коэффициенты K_i, K_i-1 (в хронологическом порядке) и коэффициент вариации $C_{v_{\text{ан}}}$.

Продолжительность ряда реки-аналога обычно считается достаточной для проверки репрезентативности исследуемого ряда, если *N*>50 лет.

2. Построить разностно-интегральную кривую (РИК). Ее ординаты вычисляются по формуле:

$$S_m = \sum_{i=0}^{m} (K_i - 1),\ i=0,1,2,3,\ldots m,\ldots N. \qquad (2.1)$$

Схема расчета следующая: $S_0=0$, $S_1=S_0+(K_1-1)$, $S_2=S_1+(K_2-1)$,..., $S_m=S_{m-1}+(K_m-1)$,…, $S_N=S_{N-1}+(K_N-1)$.

3. Вычислить среднюю водность за период наблюдений (n лет) в расчетном створе (рис. 2):

$$K_{\text{ср}} = 1 + \frac{C_{V\text{расч.}}}{C_{V\text{анал.}}} \frac{S_{\text{кон}} - S_{\text{нач}}}{n}, \qquad (2.2)$$

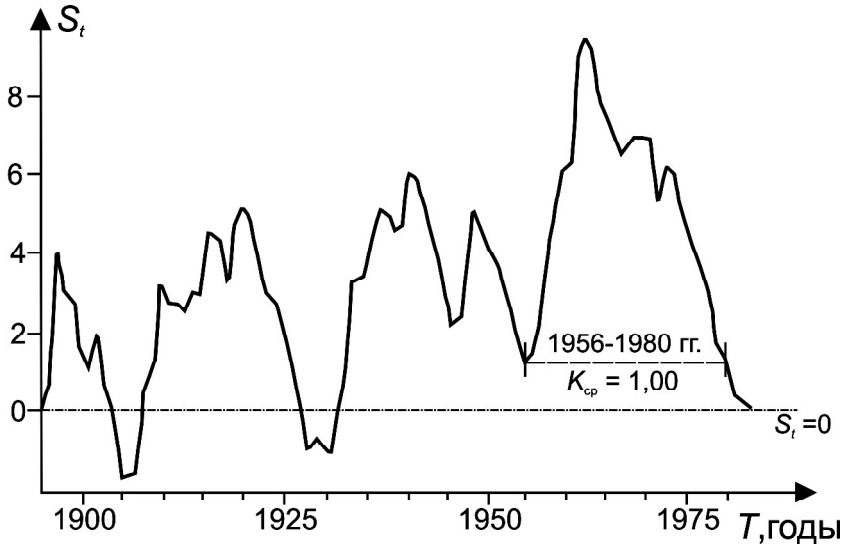


Рис. 2. *Разностно-интегральная кривая годового стока р. Шилки (пост Часовая) за 1896–1982 гг. и оценка водности (репрезентативности) периода с 1956 по 1980 гг.*

где $S_{кон}$ и $S_{нач}$ – конечная и начальная ординаты разностно-интегральной кривой; $C_{V\,расч.}$ – коэффициент вариации годового стока расчетного створа из задания 1; $C_{V\,анал.}$ – коэффициент вариации годового стока створа-аналога для периода *n*.

Особое внимание обратить на $S_{нач}$. S_m – это ордината РИК на конец *m*-го года, а начальная ордината года – S_{m-1} (например, для периода с 1956 по 1980 год $S_{нач}=S_{1955}$, а $S_{кон}=S_{1980}$).

При $0,90 < K_{ср} < 1,10$ период наблюдений в расчетном створе можно считать репрезентативным.

4. Исследовать репрезентативность исследуемого периода наблюдений вторым способом. Вычислить параметры кривой обеспеченности Q_0 и C_v по реке-аналогу за период наблюдений на расчетном створе за *n* лет и *N* лет; построить эмпирические кривые обеспеченности за эти периоды. Близкое совпадение кривых обеспеченности (и статистических параметров), полученных за рассматриваемые *n* лет и весь период наблюдений по створу-аналогу *N* лет, свидетельствует о репрезентативности периода наблюдений в расчетном створе.

Задание 3. Приведение параметров кривых обеспеченности годового стока к многолетнему периоду

Требуется:

- подобрать реку или створ-аналог для приведения статистических параметров кривых обеспеченности годового стока к многолетнему периоду и выполнить указанное приведение;
- определить расходы воды обеспеченности 1, 5, 10, 25, 50, 75, 80, 90, 95, 97 и 99%.

Дано:

- ряды среднегодовых расходов воды в районе расположения расчетного створа.

Порядок выполнения

1. Выбрать створы с продолжительным периодом наблюдений *N>n* территориально наиболее близкие к изучаемому бассейну.

2. Построить графики связи между значениями годового стока в расчетном створе и в створах, намеченных в качестве аналога

(рис. 3). Выбрать створ, имеющий наиболее тесную линейную связь с расчетным.

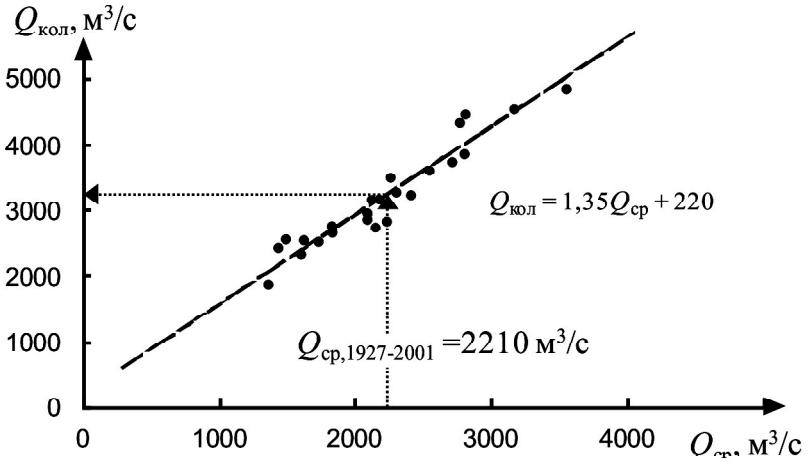


***Рис.* 3.** *Схема приведения к многолетнему периоду с использованием графика линейной эмпирической зависимости между среднегодовыми расходами воды р. Колымы на постах Колымское-1 ($Q_{кол}$) и Среднеколымск ($Q_{ср}$), построенной за совместный период наблюдений 1977–2001 гг.*

3. Вычислить коэффициент корреляции *r* по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\left(x_i - \bar{x}\right)\left(y_i - \bar{y}\right)\right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \bar{y}\right)^2}}. \qquad (3.1)$$

Если $r \geq 0,7$, то выбранный створ принять в качестве аналога; если $r < 0,7$, то следует продолжить работу по подбору аналога.

При приведении гидрологических рядов и их параметров распределения к многолетнему периоду с использованием уравнения линейной регрессии, помимо наличия синхронности в колебаниях речного стока расчетного створа и створа-аналога, выражаемого через *r*, также требуется соблюдение еще нескольких условий (пп. 4.14, 6.7 в [14]): число

совместных лет наблюдений в расчетном створе и пункте-аналоге не должно быть меньше 6–10; $|r|/\sigma_r \geq 2$ **(**$\sigma_r = \dfrac{1-r^2}{\sqrt{n-1}}$ **– среднеквадратическая погрешность оценки коэффициента корреляции);** $a/\sigma_a \geq 2$

($a = R_{y/x} = r_{xy}\dfrac{\sigma_y}{\sigma_x}$ **– коэффициент регрессии,** $\sigma_a = \dfrac{\sigma_y}{\sigma_x}\sqrt{\dfrac{1-r^2}{n-1}}$ **– среднеквадратическая погрешность коэффициента регрессии)**.

4. Вычислить среднее многолетнее значение годового стока для реки-аналога за весь период наблюдений $\overline{Q}_{N\text{ан}}$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma_{N\text{ан}}$.

5. Составить уравнение регрессии ($y = y_0 + R_{y/x}\left(x - x_0\right)$) и по нему определить приведенное к периоду наблюдений N лет среднемноголетнее значение годового стока в расчетном створе $\overline{Q}_{N_{\text{расч}}} = f\left(\overline{Q}_{N\text{ан}}\right)$.

6. Для расчетного створа вычислить приведенную величину среднеквадратического отклонения:

$$\sigma_{N\text{расч}} = \sigma_{n_{\text{расч}}} \Big/ \sqrt{1 - r^2\left(1 - \frac{\sigma^2_{n_{\text{ан}}}}{\sigma^2_{N_{\text{ан}}}}\right)} \qquad (3.2)$$

и приведенную величину коэффициента вариации

$$C_{v\,N\,\text{расч.}} = \sigma_{N_{\text{расч}}} \Big/ \overline{Q}_{N_{\text{расч}}}. \qquad (3.3)$$

7. Определить в процентах погрешность приведенной средней многолетней величины годового стока

$$E_{\overline{Q}} = \frac{100\sigma_n}{\overline{Q}\sqrt{n}}\sqrt{1 + r^2\left(\frac{n}{N}\frac{\sigma^2_{N_{\text{ан}}}}{\sigma^2_{n_{\text{ан}}}} - 1\right)},\ \%. \qquad (3.4)$$

Сравнить полученную величину $E_{\overline{Q}}$ с погрешностью неприведенного ряда из задания 1.

8. Оценить объем информации, эквивалентной наблюденным данным, полученный в результате приведения параметров $\overline{Q}$ и σ к многолетнему периоду (согласно разделу 3 в [4])

$$\text{для } \overline{Q}: \quad N_э = \frac{N}{1 + \dfrac{N-n}{n-2}\left(1 - r^2\right)}, \qquad (3.5)$$

$$\text{для } \sigma: \quad N_э = \frac{N}{1 + \dfrac{N-n}{n}\left(1 - r^4\right)}. \qquad (3.6)$$

9. По уточненным (приведенным) параметрам кривой обеспеченности определить среднегодовые расходы обеспеченностью 10, 50 и 90% и сравнить их с ранее полученными (до приведения – задание 1). Соотношение C_s/C_v взять прежним (задание 1) – по районному обобщению.

10. Определить, используя уравнение регрессии, квантили 5, 50 и 95%-ной обеспеченности годовых расходов в расчетном створе по соответствующим квантилям среднегодовых расходов аналога.

По приведенным таким образом к N-летнему периоду квантилям определить статистические параметры кривой обеспеченности годового стока, используя графоаналитический метод. Сравнить их с результатами вычислений пп. 5 и 6.

11. Составить таблицу среднегодовых расходов воды различной обеспеченности, используя параметры, полученные в пп. 5, 6 и 10.

Задание 4. Расчет годового стока при отсутствии материалов гидрометрических наблюдений

Требуется:

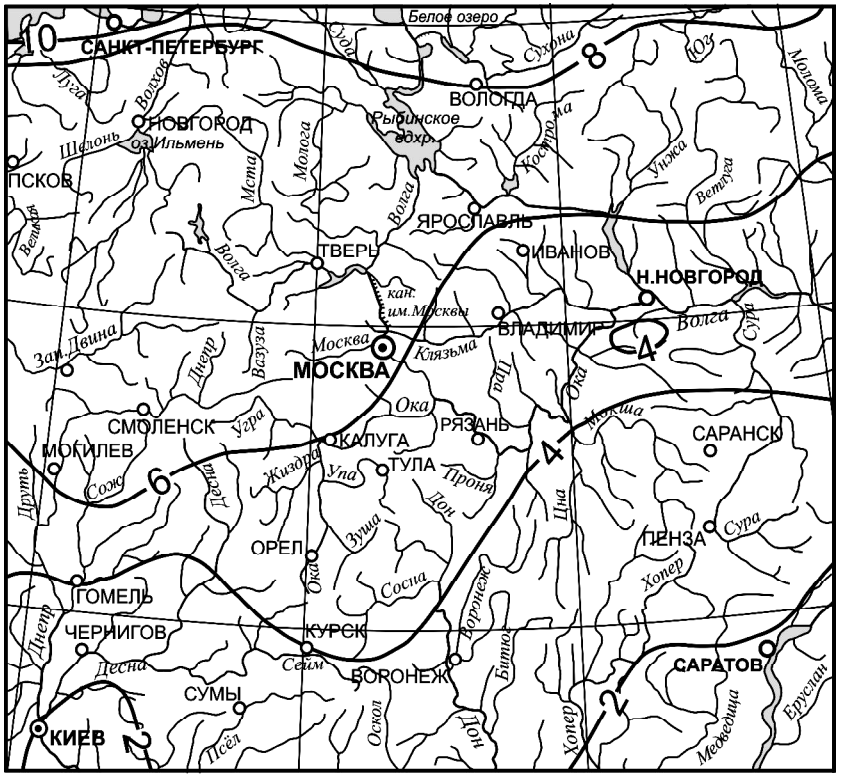
- определить параметры кривой обеспеченности годового стока Q_0 и C_v.

Дано:

- среднемноголетние значения и C_v годового стока соседних с изучаемым водосбором рек.

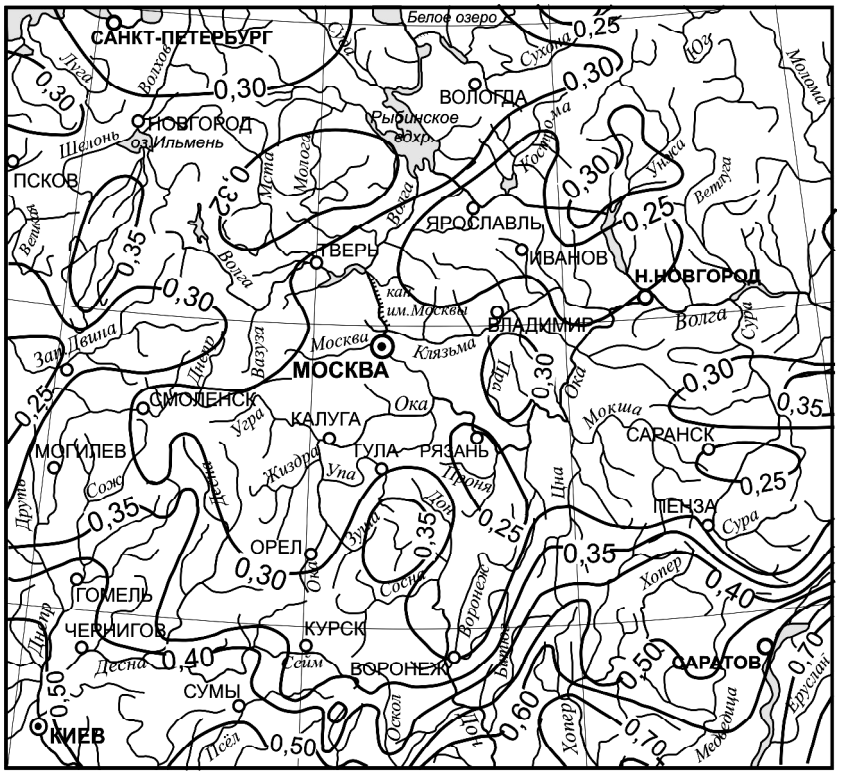
Порядок выполнения

1. Снять с карты (рис. 4) значение среднего многолетнего модуля стока. Для центра водосбора неизученной реки оно определяется путем линейной интерполяции между изолиниями стока. В случае же пересечения водосбора несколькими изолиниями искомая величина вычисляется как средневзвешенное по площадям значение $q_{ср} = \sum q_i A_i \Big/ A$, где q_i – средние значения между соседними изолиниями; A_i – соответствующие им частные площади водосбора; A – суммарная площадь водосбора реки, замыкаемая расчетным створом.



Масштаб 1:10 000 000

Рис. 4. *Среднемноголетний годовой сток рек, л/с · км²* ([1], *лист 1)*



Масштаб 1:10 000 000

Рис. 5. *Коэффициент вариации годового стока рек* ([1], *лист 2)*

2. Значение C_v годового стока определить аналогично по карте (рис. 5).

3. Определить те же параметры вторым способом. Для этого, используя результаты расчетов п. 5 задания 3, выписать значения модулей стока ближайших водосборов. Нанести их на карту (отнеся к центрам тяжести водосборов) и либо путем линейной интерполяции, либо, проведя изолинии (с учетом требований п. 7.5 в [14]), определить средний многолетний модуль стока для неизученного водосбора.

Карты из [1], полученные по данным по состоянию 1970-х гг., не всегда применимы. Поэтому рекомендуется, в особенности при расчетах $q_{ср}$ и C_v, либо использовать новые карты и региональные зависимости, например, приводимые в действующих ТСН, либо, если их нет, создавать эти расчет-

ные инструменты самим, соблюдая требования [14] и привлекая гидрологические данные рек-аналогов (по состоянию на современный период), уточненные сведения по основным стокоформирующим факторам.

Выписать C_v годового стока нескольких соседних с изучаемым водосбором бассейнов, а затем обратиться к формуле из [11]

$$C_v = \frac{C}{q^{0,4}\left(A+1000\right)^{0,1}}. \qquad (4.1)$$

Вычислить обратным пересчетом параметр C для рек-аналогов. Проанализировать экстремальные значения C с учетом влияния местных факторов (карст, заболоченность, озерность) и длительности рядов наблюдений. Принять значение C по реке-аналогу либо по группе рек. Определить C_v расчетного ряда по формуле (4.1).

4. Соотношение C_s/C_v устанавливается по данным группы рек с наиболее продолжительным периодом наблюдений (см. примечание 1 задания 1). Для рассматриваемого на рис. 5 района в первом приближении можно принять $C_s/C_v = 2$ ([1], лист 4).

5. Вычислить значение годового стока обеспеченностью 10, 50 и 90% по параметрам, определенным согласно пп. 1–4. Сравнить полученные величины между собой и с аналогичными величинами, определенными при наличии материалов наблюдений.

ТЕМА II. ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА

Задание 5. Расчеты распределения стока по сезонам года методом компоновки

Требуется:

- определить величины сезонного стока в году 90 и 95%-ной обеспеченности (преподаватель может назначить дополнительно и другие обеспеченности).

Дано:

- среднемесячные расходы воды за *n* календарных лет.

Порядок выполнения

1. Переписать среднемесячные расходы по водохозяйственным годам (от начала многоводного периода).

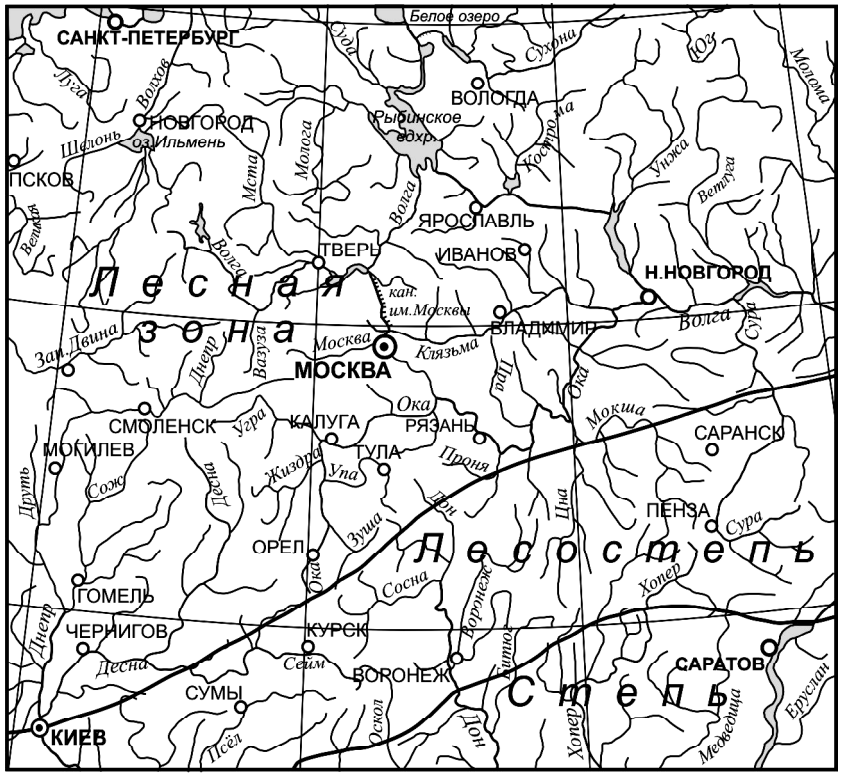
2. Назначить три сезона, ориентируясь на данные табл. 7 и имеющийся материал наблюдений.

Обратить внимание на необходимость назначения границ многоводного сезона таким образом, чтобы в них помещались фактические половодья за все годы как с наиболее ранним сроком его наступления, так и наиболее поздним сроком окончания.

Два смежных относительно маловодных сезона объединяются в лимитирующий период, наиболее маловодный сезон принять за лимитирующий сезон.

3. Вычислить в пределах каждого водохозяйственного года суммы среднемесячных расходов за:

- многоводный сезон (половодье) – П (нелимитирующий период),
- лимитирующий период – ЛП,
- лимитирующий сезон – ЛС,
- нелимитирующий сезон лимитирующего периода – НС,
- весь водохозяйственный год – Г.



Масштаб 1:10 000 000

***Рис.* 6.** *Физико-географическое районирование (*[1]*, лист 7)*

Таблица 7

Примерные сроки основных гидрологических сезонов в разных районах европейской территории РФ (по табл. Б.1 в [5])

Районы (рис. 6)	Сезоны		
	весенний	летне-осенний	зимний
Лесная зона (севернее 56°с. ш.)	IV–VI	VII–XI	XII–III
Южная часть лесной зоны и лесостепная зона	III–V	VI–XI	XII–II
Степная зона	II–IV	V–XI	XII–I

Примеры вычислений сведены в табл. 8.

Таблица 8

Пример расчета сумм среднемесячных расходов воды за водохозяйственные сезоны и год

Водохозяйственный год	Половодье (П)				Нелимитирующий сезон (НС)							ЛС				ЛП	Г
	III	IV	V	Σ	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Σ	XII	I	II	Σ	Σ	Σ
1950–51	23	40	15	**78**	10	14	8	10	15	9	**66**	7	5	4	**16**	**82**	**160**
1951–52	16	32	28	**76**	15	12	9	15	11	13	**74**	10	9	7	**26**	**100**	**176**
…….	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
1996–97	15	25	12	**52**	10	9	6	11	15	12	**63**	10	8	8	**26**	**89**	**141**
Среднее				**64**							**65**				**24**	**89**	**153**

4. Построить эмпирические кривые обеспеченности сумм среднемесячных расходов воды (для всех водохозяйственных сезонов и года): $P(\text{П})$, $P(\text{ЛП})$, $P(\text{ЛС})$, $P(\text{НС})$, $P(\text{Г})$ (рис. 7). Вычислить параметры кривых обеспеченности.

5. Определить величины Г, ЛП, ЛС заданной обеспеченности P; остальные (П и НС) – вычислить по разности: $\text{П} = \text{Г}_P - \text{ЛП}_P$ и $\text{НС} = \text{ЛП}_P - \text{ЛС}_P$.

6. Определить качество компоновки, определив по кривым обеспеченности $P(\text{П})$ и $P(\text{НС})$. Если полученные обеспеченности больше заданной, то допущена ошибка в расчетах.

7. Построить два графика связи равнообеспеченных значений модульных коэффициентов вида $K_{\text{ЛП}} = f_1(K_{\text{Г}})$ и $K_{\text{ЛС}} = f_2(K_{\text{ЛП}})$ (рис. 8). Эти графики потребуются для выполнения задания 11.

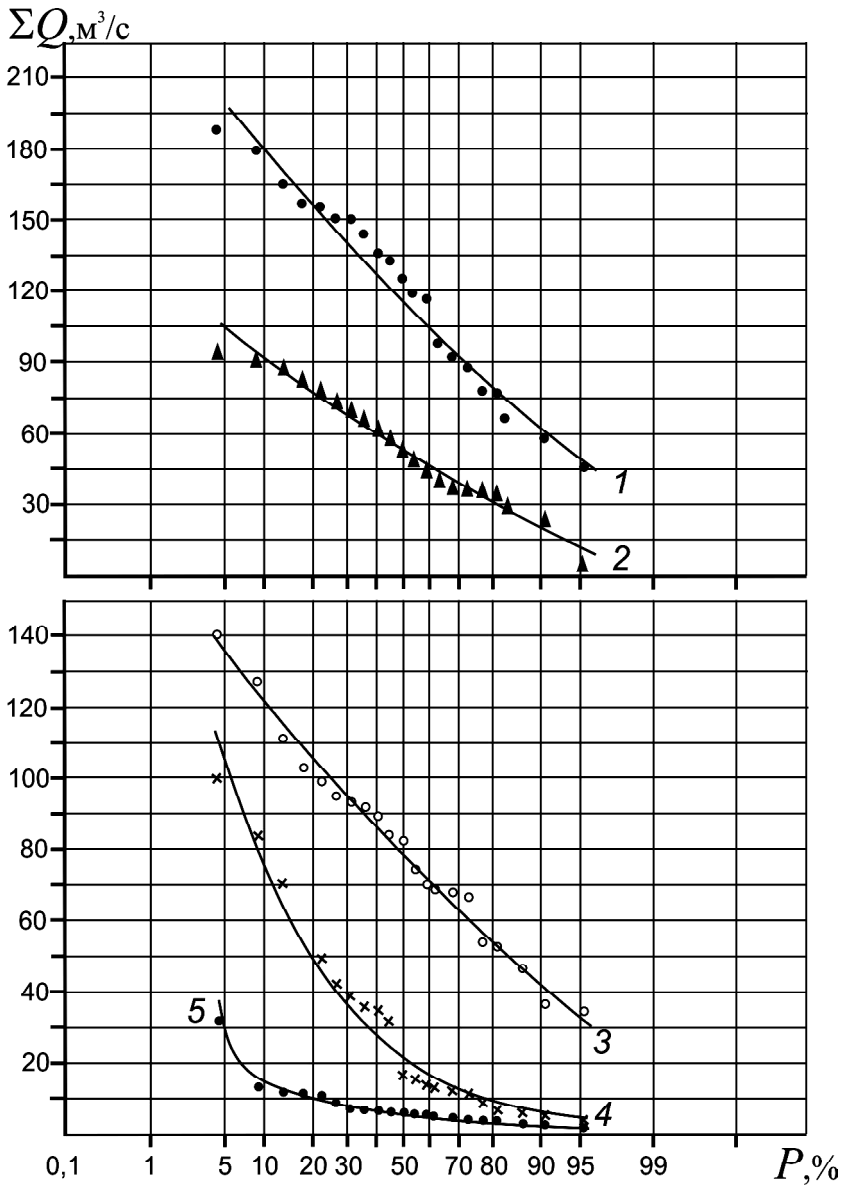


Рис. 7. *Пример эмпирических кривых обеспеченности сумм среднемесячных расходов воды за год (1), лимитирующий (2) и нелимитирующий (3) периоды, лимитирующий (4) и нелимитирующий (5) сезоны*

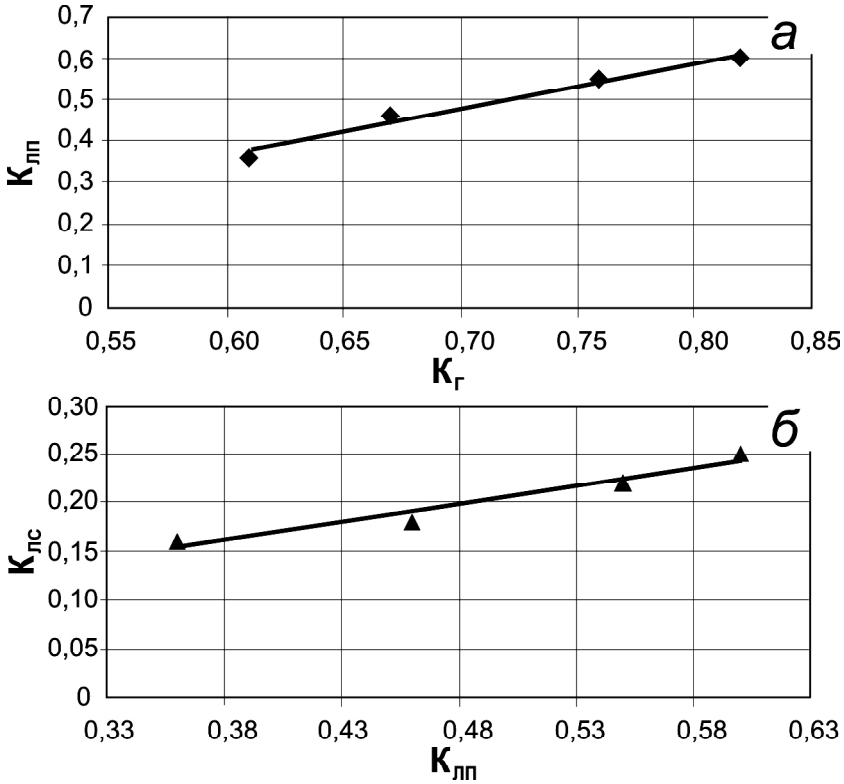


Рис. 8. *Пример графиков связи равнообеспеченных значений модульных коэффициентов сумм среднемесячных расходов воды за водохозяйственный год и лимитирующий период (а), лимитирующие период и сезон (б)*

Задание 6. Расчет внутрисезонного распределения

Требуется:

- определить среднемесячные расходы в году 90 и 95%-ной обеспеченности.

Дано:

- среднемесячные расходы по водохозяйственным годам (из задания 5).

Порядок выполнения

1. Разбить имеющиеся по совокупности сезонов ряды сумм среднемесячных расходов воды на три группы: многоводные (P<33,3%), средние (33,3≤P≤66,7%) и маловодные (P>66,7%).

Если продолжительность периода наблюдений менее 15 лет, то деление сезонов на группы не производится.

2. Для каждого года и сезона, входящего в соответствующую группу водности, среднемесячные расходы внутри сезона расположить в убывающем порядке с указанием календарных месяцев, к которым они относятся. Для всех лет данной группы водности суммировать полученные ранжированные ряды среднемесячных расходов (в каждом столбце) и суммы среднемесячных расходов за сезон.

По итоговым данным установить распределение стока по месяцам внутри сезона в долях суммарного стока за этот сезон.

Полученные доли для каждого порядкового номера месяца отнести к тому календарному месяцу, который встречается наиболее часто на данном порядковом месте.

3. Расчетные величины сумм среднемесячных расходов за сезон из задания 5 перемножить на полученные доли.

4. Полученные в п. 3 среднемесячные расходы за год заданной обеспеченности свести в единую таблицу и проверить правильность расчета их суммированием. Сумма среднемесячных расходов должна равняться величине Γ_P, где P – заданная обеспеченность.

При повышенных требованиях к детальности модели года в расчетную схему (задания 5–6) включается величина стока лимитирующего месяца (ЛМ$_P$) в лимитирующем сезоне (ЛС$_P$). Принцип включения – тот же, что и в компоновке сезонов. Указанная задача возникает в водохозяйственном проектировании, если не предусматривается регулирование стока или же при его незначительном регулировании.

Задание 7. Выбор расчетного года по обеспеченности лимитирующего периода, сезона и месяца

Требуется:

- рассчитать распределение стока по месяцам в году 90 и 95%-ной обеспеченности.

Дано:

- см. задание 5.

Порядок выполнения

1. Для всего ряда наблюдений выписать суммы месячных расходов за год, лимитирующий период и лимитирующий сезон. При этом использовать результаты вычислений задания 5, п.3.

2. Полученные величины для каждой из этих характеристик расположить в порядке убывания и около них выписать водохозяйственные годы, к которым они относятся, и их эмпирические обеспеченности (табл. 9).

Таблица 9

Пример выбора расчетного года

P, %	Год	З	Год	ЛП	Год	Г
4,8	1960–61	208	1962–63	705	1962–63	1317
9,5	1958–59	131	1960–61	488	1958–59	1282
14,3	1961–62	124	1958–59	436	1953–54	902
19,0	1962–63	113	1952–53	419	1957–58	898
23,8	1969–70	100	1957–58	390	1960–61	827
66,7	1966–67	55,6	1963–64	187	1954–55	651
71,4	1964–65	53,6	1959–60	173	1959–60	632
76,2	1951–52	50,8	1951–52	163	1969–70	579
81,0	1959–60	50,0	1966–67	157	1950–51	554
85,7	1955–56	48,7	1967–68	153	1964–65	538
90,5	1967–68	46,4	1964–65	143	1968–69	526
95,2	1968–69	38,9	1968–69	129	1965–66	356

3. Из числа имеющихся выбрать год, в котором обеспеченности для года, лимитирующего периода и лимитирующего сезона наиболее близки к заданной обеспеченности P. Количественный критерий выбора года согласно [14] (раздел 5.23) – минимум ΔP_j, где

$$\Delta P_j = \left(P_{\Gamma} - P\right)_j^2 + \left(P_{\text{ЛП}} - P\right)_j^2 + \left(P_{\text{ЛС}} - P\right)_j^2 . \qquad (7.1)$$

При включении в расчетную схему величины стока лимитирующего месяца (ЛМ) в формулу (7.1) следует добавить слагаемое $\left(P_{\text{ЛМ}} - P\right)_j^2$.

4. Для выбранного года установить относительное распределение стока по месяцам и сезонам (% годового стока).

5. Определить величины месячных и сезонных расходов воды ($м^3/с$) умножением годовой суммы расходов искомой обеспеченности $Г_P$ (см. задание 5) на относительное распределение выбранного года (из п. 4).

6. Определить обеспеченности лимитирующих периода и сезона в полученной модели года, используя результаты построений п.4 задания 5.

Задание 8. Выбор года из числа фактических по оценке дефицитов стока

Требуется:

- рассчитать распределение стока по месяцам в году 90 и 95%-ной обеспеченности.

Дано:

- среднемесячные расходы по водохозяйственным годам;
- расход гарантированной отдачи q.

Порядок выполнения

1. Для расхода отдачи q по всем водохозяйственным годам установить продолжительность дефицитного периода $T_Д$ (число месяцев, когда фактический среднемесячный расход меньше расхода отдачи q), подсчитать сумму месячных расходов за дефицитные месяцы и определить величину годового дефицита

$$D = qT_Д - \sum_{T_Д} Q_{мес} . \qquad (8.1)$$

2. Суммы среднемесячных расходов за водохозяйственные годы расположить в порядке убывания, а величины дефицитов D – в порядке возрастания. У каждой из величин Г и D выписать год и эмпирическую обеспеченность годового стока P_m(Г), которая соответствует (на том же месте ранжировки) обеспеченности дефицита 100–P.

3. Из числа имеющихся выбрать год, в котором величины обеспеченности P годового стока и величин 100–P для дефицитов наиболее близки друг к другу, а величина эмпирической обеспеченности наиболее близка к заданной обеспеченности.

4. Для выбранного года установить относительное распределение по месяцам в долях годового.

5. Умножить годовой сток заданной обеспеченности $Г_P$ (см. задание 5) на полученные доли. Полученные для расчетного года абсолютные величины среднемесячных расходов свести в таблицу.

6. Определить по полученной таблице среднемесячных расходов дефицит $D_{расч}$ способом, указанным в п. 1.

7. Построить сглаженную эмпирическую кривую обеспеченности годовых дефицитов $P(D)$ и определить по ней обеспеченность величины $D_{расч}$, обозначив ее как $P(D_{расч})$.

Критерием качества расчета внутригодового распределения способом, изложенным в настоящем задании, является близость $P(D_{расч})$ к величине 1–P(Г), где P(Г) – заданная обеспеченность года.

Задание 9. Определение ординат кривой продолжительности суточных расходов воды и коэффициента естественной зарегулированности

Требуется:

- определить ординаты кривой продолжительности суточных расходов воды и вычислить коэффициент естественной зарегулированности стока по таблицам ежеднвных расходов воды.

Дано:

- таблица ежедневных расходов воды.

Порядок выполнения

1. Расположить среднесуточные расходы за весь год в убывающем порядке величин $Q(T)$:

$$Q_1 \geq Q_2 \geq ... \geq Q_T \geq ... \geq Q_{365} .$$

2. Из полученного ранжированного ряда $Q(T)$ выписать расходы продолжительностью 30, 90, 180, 270 и 355 суток.

3. Построить кривую продолжительности суточных расходов воды $Q(T)$, присвоив максимальному суточному расходу продолжительность 1 сутки, а минимальному суточному – 365 суток (рис. 9).

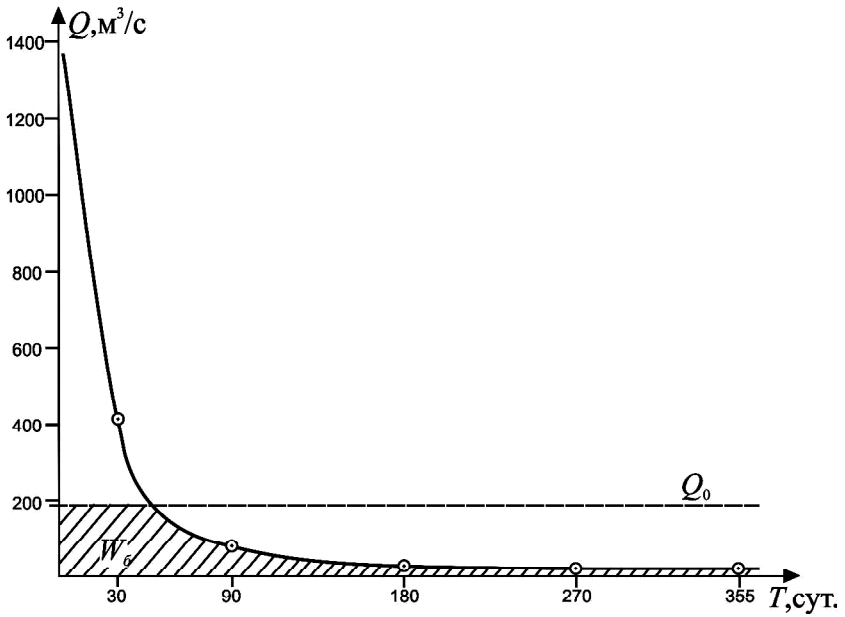


***Рис.* 9.** *Пример кривой продолжительности суточных расходов воды. Q_0 – среднегодовой расход воды*

4. По таблице ежедневных расходов вычислить коэффициент естественной зарегулированности стока φ:

$$\varphi = \sum_{i=1}^{365} Q_{б_i} \Big/ 365 Q_0, \qquad (9.1)$$

где $Q_{б_i} = \begin{cases} Q_0, & \text{если} \quad Q_i \geq Q_0 \\ Q_i, & \text{если} \quad Q_i < Q_0 \end{cases}$, Q_0 – среднегодовой расход воды.

5. Вычислить коэффициент естественной зарегулированности вторым способом – по кривой продолжительности $Q(T)$:

$$\varphi = W_б \Big/ W_г, \qquad (9.2)$$

где $W_б$ – базисный сток, который соответствует площади, ограниченной кривой продолжительности ниже линии среднегодового расхода (рис. 9); $W_г$ – объем годового стока, определяемый как площадь всей фигуры, находящейся под кривой продолжительности.

6. Сравнить величины φ, полученные методом суммирования по таблице ежедневных расходов воды и графически – по кривой продолжительности. Установить степень естественной зарегулированности реки.

По степени естественной зарегулированности стока реки могут быть условно разделены на слабозарегулированные (<0,60), среднезарегулированные (0,60≤φ≤0,75) и сильнозарегулированные (>0,75).

7. Вычислить коэффициент внутригодовой неравномерности стока:

$$d = 1 - \varphi. \qquad (9.3)$$

Задание 10. Построение средней кривой продолжительности суточных расходов воды. Исследование зависимости внутригодового распределения от водности года

Требуется:

- построить кривые продолжительности суточных расходов воды и исследовать зависимость внутригодового распределения от водности года.

Дано:

- таблица характерных расходов воды (продолжительностью 30, 90, 180, 270 и 355 сут.) за период наблюдений,
- таблицы ежедневных расходов воды за период наблюдений.

Порядок выполнения

1. Выбрать из таблиц ежедневных расходов воды данные о ежегодных значениях максимальных и минимальных среднесуточных расходов и добавить их к имеющимся сведениям о ежегод-

ных значениях расходов продолжительностью 30, 90, 180, 270 и 355 дней (приводятся в справочных гидрологических изданиях «Основные гидрологические характеристики» их серии Ресурсы поверхностных вод СССР и «Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши» и серии Государственный водный кадастр) (табл. 10).

Таблица 10

Пример расчета ординат средней кривой продолжительности суточных расходов воды

Год	Обеспеченные расходы в течение *n* дней					Экстремальные суточные	
	n=30	*n*=90	*n*=180	*n*=270	*n*=355	Q_{mx}	Q_{mn}
1929	42,4	25,5	14,6	3,70	2,15	180	2,10
1930	46,9	19,8	9,65	4,39	2,28	94,0	2,12
….	….	….	….	….	….	….	….
1975	20,2	11,2	6,04	3,69	2,13	152	1,72
Среднее	33,9	14,5	6,27	2,84	1,63	129	1,46

2. Определить средние величины (за период наблюдений) максимальных и минимальных суточных расходов, а также расходов стандартной продолжительности (табл. 10).

3. По полученным значениям построить среднюю кривую продолжительности суточных расходов.

4. Определить по средней кривой продолжительности коэффициент естественной зарегулированности φ_0^*, согласно формуле (9.2).

5. Построить кривые продолжительности за каждый год и по ним определять коэффициенты естественной зарегулированности φ_i. Вычислить среднее многолетнее значение $\varphi_0 = \sum \varphi_i / n$ и сравнить его с φ_0^*.

6. Построить график связи ежегодных значений коэффициента φ_i с модульными коэффициентами годового стока $K_i = Q_i / Q_0$. Проанализировать характер зависимости $\varphi=\varphi(K)$ на предмет ее существования или отсутствия.

Задание 11. Расчеты внутригодового распределения стока с учетом материалов кратковременных гидрометрических наблюдений

Требуется:

- рассчитать распределение стока по месяцам в году 90 и 95%-ной обеспеченности.

Дано:

- среднемесячные расходы воды по трем-четырем годам наблюдений (по усмотрению преподавателя);
- материалы расчетов внутригодового распределения стока на изученных реках района;
- гидрографические характеристики изученных бассейнов района (площадь, залесенность, заболоченность, озерность), характеристики среднего многолетнего стока, почвогрунтов, гидрогеологические условия, рельеф, климатические характеристики.

Порядок выполнения

1. Подобрать реку-аналог, руководствуясь следующими признаками:
   а) близкие климатические условия,
   б) близкие показатели среднего многолетнего стока,
   в) сходные условия подстилающей поверхности (рельеф, почвогрунты, гидрогеологические условия, залесенность, заболоченность, озерность),
   г) близкие размеры площади водосбора *A* (разница в величине lg*A* не более, чем на 1-1,5).

2. Провести обоснование аналогии по имеющимся 3-4 годам наблюдений:
   а) перевести среднемесячные расходы воды в слои стока (мм) по расчетному створу и створу-аналогу за каждый имеющийся год,
   б) вычислить слои стока по сезонам и за год,
   в) вычислить относительное распределение стока по месяцам внутри сезонов,
   г) сопоставить соответствующие слои стока и доли месячного стока внутри сезонов по расчетному створу и створу-аналогу за совместный период наблюдений.

Если сезонные и годовые величины слоя стока на обеих реках за общий период наблюдений примерно равны или различаются незначительно (не более, чем на 15–20%), а распределение стока внутри сезонов примерно одинаково, то этим подтверждается наличие аналогии между указанными реками. В противоположном случае следует взять за аналог другую реку и повторить обоснование выбора.

Для более полного извлечения имеющейся информации в целях надежности обоснования выбора аналога рекомендуется построить графики связи месячных слоев стока за каждый отдельный год совместных наблюдений.

3. Рассчитать распределение стока по сезонам в году заданной обеспеченности:

а) норму $\overline{Q}_{\text{г}}$ и C_v годового стока взять по материалам задания 4; соотношение C_s/C_v принять по реке-аналогу; определить годовой сток заданной обеспеченности $Q_{\text{г},P}$ и его модульный коэффициент $K_{\text{г},P}$; вычислить годовые суммы среднемесячных расходов $\overline{\Gamma} = 12\overline{Q}_{\text{г}}$ и $\Gamma_P = 12Q_{\text{г},P}$;

б) установить средние величины стока лимитирующего периода $\overline{\text{ЛП}}$ и лимитирующего сезона $\overline{\text{ЛС}}$ умножением нормы годового стока $\overline{\Gamma}$ на долю лимитирующих периода и сезона, взяв их по реке-аналогу;

в) определить величину модульного коэффициента лимитирующего периода $K_{\text{ЛП}}$, использовав для этого график связи равнообеспеченных значений модульных коэффициентов вида $K_{\text{ЛП}} = f_1\left(K_{\Gamma}\right)$ **по реке-аналогу** (см. задание 5, рис. 8);

г) аналогично, по графику связи $K_{\text{ЛС}} = f_2\left(K_{\text{ЛП}}\right)$ определить величину модульного коэффициента лимитирующего сезона;

д) определить величины стока заданной обеспеченности за лимитирующий период и сезон: $\text{ЛП}_P = \overline{\text{ЛП}} \times K_{\text{ЛП},P}$, $\text{ЛС}_P = \overline{\text{ЛС}} \times K_{\text{ЛС},P}$;

е) вычислить величины стока нелимитирующего периода П и нелимитирующего сезона НС как разности: $\text{П} = \Gamma_P - \text{ЛП}_P$ и $\text{НС} = \text{ЛП}_P - \text{ЛС}_P$.

4. Рассчитать внутрисезонное распределение стока (по месяцам), приняв относительное распределение (в долях от сезонного стока) по реке-аналогу.

5. Свести полученные таким образом величины месячного стока в году расчетной обеспеченности в единую таблицу.

6. Сравнить результаты расчета с полученным ранее внутригодовым распределением стока (см. задание 6) и дать заключение о точности метода аналогии.

Вместо изложенного в п. 3 (в, г) способа определения расчетных величин сезонного стока можно (по усмотрению преподавателя) использовать кривые обеспеченности соответствующих характеристик:

а) определить коэффициенты вариации за лимитирующий период и сезоны $C_{v_{\text{ЛП}}}$ и $C_{v_{\text{ЛС}}}$ по соотношениям $C_{v_{\text{ЛП}}} = C_{v_{\text{Г}}} m_{\text{ЛП}}$ и $C_{v_{\text{ЛС}}} = C_{v_{\text{ЛП}}} m_{\text{ЛС}}$, где коэффициенты $m_{\text{ЛП}}$ и $m_{\text{ЛС}}$ принимаются по реке-аналогу;

б) по принятым параметрам $\overline{\text{ЛП}}$, $C_{v_{\text{ЛП}}}$ и $\overline{\text{ЛС}}$, $C_{v_{\text{ЛС}}}$ определить сток заданной обеспеченности ЛП_P и ЛС_P.

ТЕМА III. МИНИМАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ ВОДЫ

Задание 12. Определение минимальных 30-дневных расходов воды по таблицам ежедневных расходов воды

Требуется:

- вычислить 30-дневные минимальные расходы за период свободного русла (летне-осенние) и за зимний период – по двум-трем годам (по усмотрению преподавателя).

Дано:

- таблицы ежедневных расходов воды.

Порядок выполнения

1. На основе данных из таблиц ежедневных расходов воды построить (за имеющиеся годы) гидрографы. Построение следует выполнять с начала зимнего периода, приходящегося на конец предшествующего календарного года.

Минимальные расходы воды за зимний период относятся к тому календарному году, в котором зимний период заканчивается. Например, за зимний период 1954–55 гг. минимальный расход наблюдался 8 декабря 1954 г. Этот расход следует относить к календарному 1955 г. (с указанием даты и года). Аналогично следует решать вопрос относительно 30-суточного зимнего минимума.

2. Определить по гидрографам периоды зимнего минимального 30-дневного стока и летне-осеннего минимального 30-дневного стока (даты начала и конца периодов) (рис. 10).

3. По таблицам ежедневных расходов воды вычислить средний за 30 суток расход воды в пределах указанных дат.

Если длительный меженный период прерывается значительными паводками, то можно использовать более короткий период, но не менее 24 суток ([14], раздел 5.42).

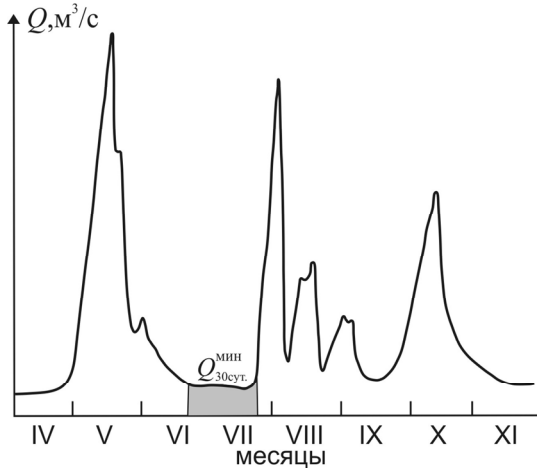


***Рис.* 10.** *Пример определения летне-осеннего минимального 30-дневного стока*

4. Сравнить полученные величины с минимальными среднемесячными расходами. Последние могут использоваться в качестве расчетных, если они не превышают 30-суточные более чем на 10%.

Задание 13. Расчет минимального стока при наличии гидрометрических наблюдений

Требуется:

- определить минимальные расходы воды среднесуточные и 30-дневные за свободный и зимний периоды обеспеченностью 75, 80, 85, 90, 95 и 97%.

Дано:

- таблицы ежедневных расходов воды и 30-суточные минимальные расходы из задания 12.

Порядок выполнения

1. Проверить качество исходных данных, сопоставив графически минимальные среднесуточные $Q^{сут}_{мин}$ и минимальные 30-суточные $Q^{30дн}_{мин}$ расходы воды. Значения первых должны быть меньше вторых и поэтому размещаться ниже прямой $Q^{сут}_{мин} = Q^{30дн}_{мин}$.

2. Определение параметров распределения, построение кривых обеспеченности и нахождение квантилей заданной обеспеченности аналогично принятому в задании 1.

В случае неудовлетворительного соответствия аналитических и эмпирических кривых обеспеченности в качестве расчетной принимается сглаженная эмпирическая кривая обеспеченности (согласно п. 5.41 в [14]).

Для контроля и увязки эмпирических кривых обеспеченности суточных и 30-суточных минимальных расходов воды построить графики связи равнообеспеченных значений вида $Q_P^{\text{сут}} = f(Q_P^{30\text{дн}})$.

Задание 14. Определение минимальных расходов воды при отсутствии материалов наблюдений

Требуется:

- определить минимальные 30-суточные и среднесуточные расходы воды за свободный и зимний периоды обеспеченностью 75, 80, 85, 90, 95 и 97%.

Дано:

- площадь бассейна A, км^2.

Порядок выполнения

1. Определить категорию реки (малая, средняя) по площади бассейна, используя табл. 11 и карты (рис. 11, 12), отдельно для зимнего и летне-осеннего периодов.

Таблица 11

Наибольшие площади бассейнов малых рек, км^2
(по табл. 31 в [11])

Районы	Наибольшие площади, км^2	
	зимний период	летне-осенний период
А	1200	1200
Б	1500	1500
В	1800	2000

2. Если река относится к категории средних рек, то для определения 30-суточных минимальных расходов 80%-ной обеспеченности использовать карты модулей стока (рис. 13, 14).

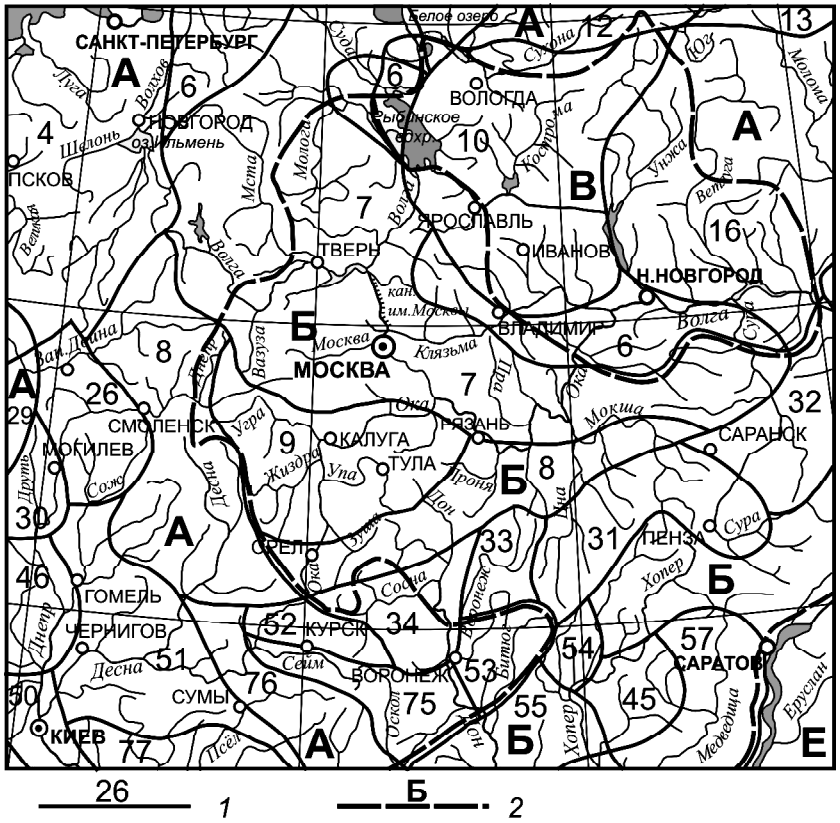


***Рис.* 11.** *Районирование параметров для определения минимального 30-суточного расхода воды вероятностью превышения 80% на малых реках в зимний период (*[1]*, лист* 19*). 1 – районы к табл.* 12*, 2 – районы к табл.* 11

Если река относится к категории малых, то для определения 30-суточных минимальных расходов 80%-ной обеспеченности применить формулу

$$Q_{80\%}^{30\text{дн}} = 0{,}001a(A + f_0)^n, \qquad (14.1)$$

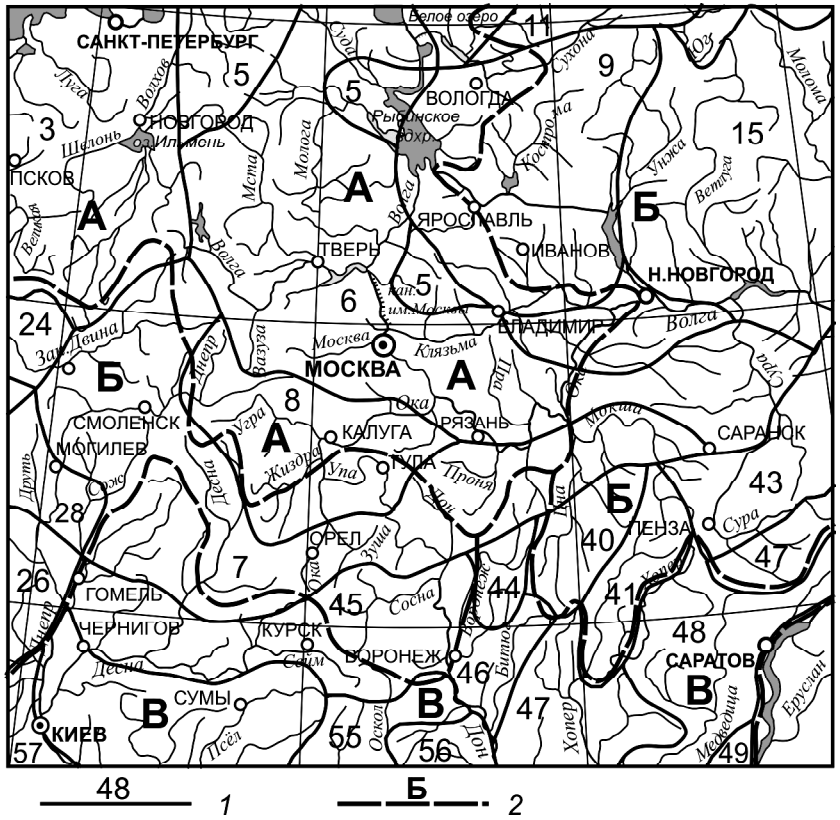
параметры которой находятся по табл. 12.

Таблица 12

Значения параметров a, n, f_0 (по Приложению 2, табл. 17 в [11])

Номер района по рис. 11, 12	Зимний период			Летне-осенний период		
	a	n	f_0	a	n	f_0
3	0,76	1,19	0	0,56	1,04	0
4	0,56	1,04	0	0,05	1,44	0
5	0,005	1,73	0	1,14	1,08	0
6	1,14	1,08	0	0,066	1,37	0
7	0,065	1,37	0	0,14	1,26	0
8	0,22	1,15	0	0,005	1,68	0
9	0,003	1,74	0	1,75	1,29	0
10	1,75	1,29	0	0,52	1,18	0
15	1,86	0,44	0	1,84	0,98	0
16	0,82	1,08	0	0,026	1,63	0
31	0,22	1,18	0	0,75	1,10	0
32	0,04	1,30	0	0,22	1,00	0
33	3,00	0,71	0	0,18	1,27	0
34	0,21	0,17	0	0,51	0,93	0
40	0,14	1,12	0	0,19	1,27	0
41	0,08	1,26	0	1,38	0,94	0
43	0,02	1,28	–1000	0,02	1,49	0
44	1,00	0,78	0	0,003	1,28	–100
45	0	0	0	0,32	1,14	0
46	0,067	1,35	0	0,01	1,33	–50

Согласно [5], раздел 9, формула (14.1) может быть использована при относительной озерности менее 5% и заболоченности менее 10%. В противном случае требуется введение повышающих коэффициентов δ_1 и δ_2, учитывающих увеличение минимальных расходов на озерных реках и заболоченных водосборах. Коэффициент δ_1 допускается определять по упрощенной формуле $\delta_1 = (1 + cA_{оз})$, где $A_{оз}$ – относительная озерность (%), c – районный параметр. Коэффициент δ_2 определяется по формуле $\delta_2 = 1 + \beta \lg(0{,}1A_б + 1)$, где β – эмпирический коэффициент, определяемый в зависимости от типа болот, $A_б$ – относительная площадь болот на водосборе (%). Параметры формул для определения δ_1 и δ_2 сообщаются преподавателем. Сравните эти формулы с формулами задания 16 в пунктах “е” и “з”.



Масштаб 1:10 000 000

***Рис.* 12.** *Районирование параметров для определения минимального 30-суточного расхода воды вероятностью превышения 80% на малых реках в летне-осенний период (*[1]*, лист* 20*).* 1 *– районы к табл.* 12, 2 *– районы к табл.* 11

3. Минимальные 30-суточные расходы других обеспеченностей определяются как

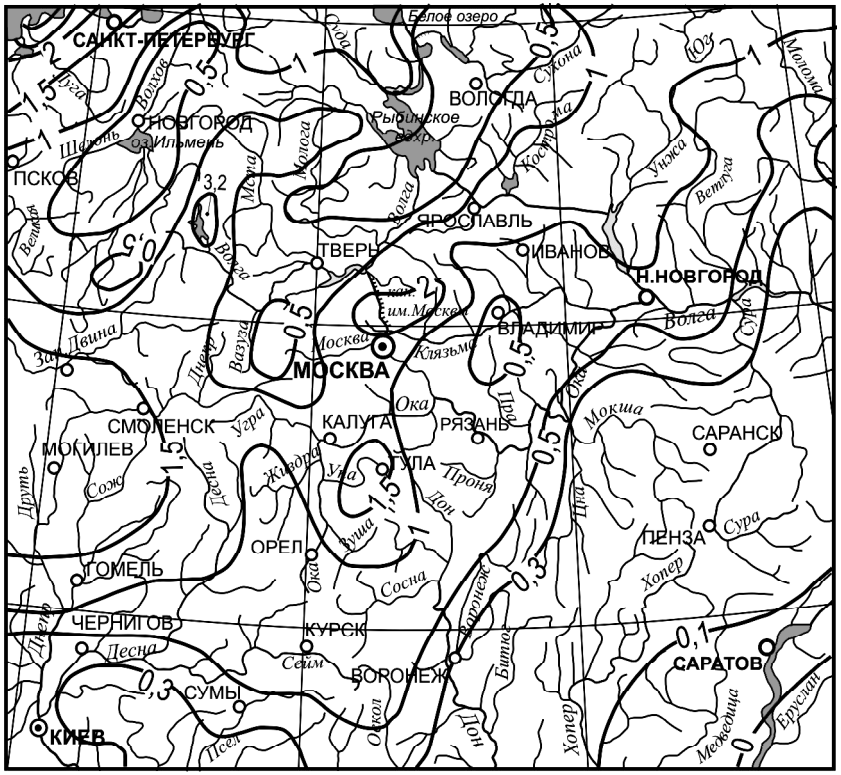
$$Q_P = \lambda_P Q_{80\%}, \qquad (14.2)$$

где λ_P берется из табл. 13.

Таблица 13

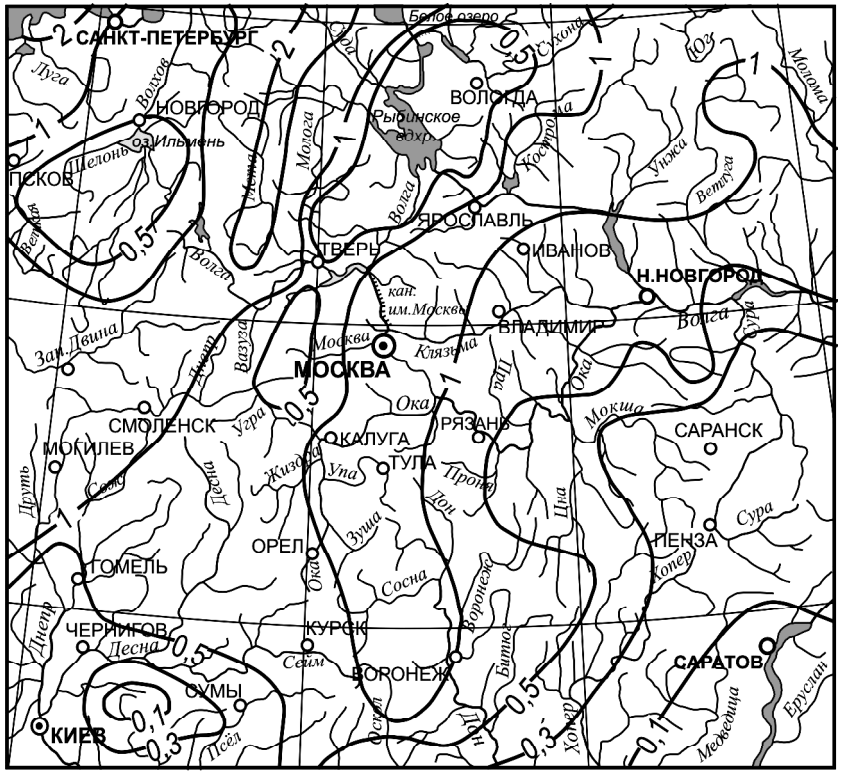
Переходные коэффициенты λ_P для определения минимальных 30-суточных расходов воды различной вероятности превышения (по табл. 32 в [11])

Район по рис. 15	Вероятность превышения, %				
	75	80	90	95	97
1	1,05	1	0,95	0,87	0,83
2	1,05	1	0,87	0,80	0,75
3	1,06	1	0,86	0,78	0,70
4	1,06	1	0,83	0,71	0,62
5	1,09	1	0,80	0,63	0,54



Масштаб 1:10 000 000

***Рис.* 13.** *Минимальный 30-суточный зимний сток рек вероятностью превышения 80% (*[1]*, лист* 17*)*



Масштаб 1:10 000 000

***Рис.* 14.** *Минимальный 30-суточный летне-осенний сток рек вероятностью превышения 80% (*[1]*, лист* 18*)*

4. Определить минимальные среднесуточные расходы 80%-ной обеспеченности как

$$Q_{80\%}^{\text{сут}} = K \cdot Q_{80\%}^{30\text{дн}}, \qquad (14.3)$$

где K берется из табл. 14 и рис. 15.

Таблица 14

Коэффициент *K* для определения минимальных среднесуточных расходов (по табл. 33 в [11])

Номера районов по рис. 15	Зимний период	Летне-осенний период
I (1)	0,90	0,90
II (2)	0,84	0,85
III (3)	0,74	0,80
IV (4)	0,64	0,74

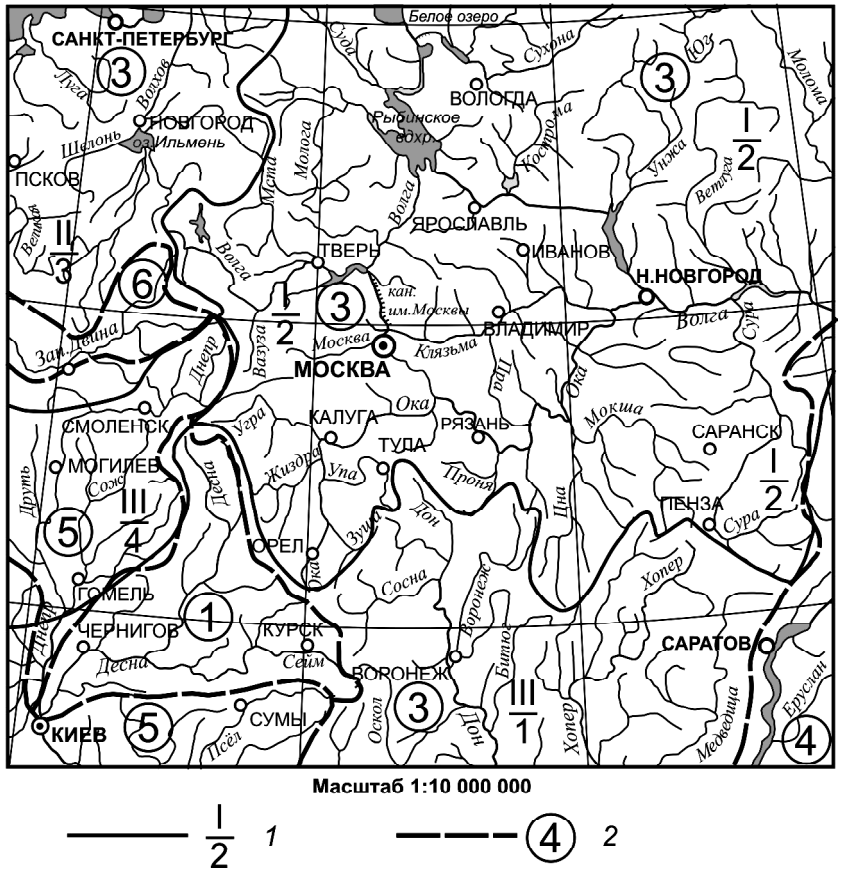


***Рис.* 15.** *Районирование переходных коэффициентов λ_P для определения минимальных расходов различной вероятности превышения и коэффициентов K для определения среднего суточного расхода воды:* 1 *– районы K,* 2 *– районы λ_P ([1], листы* 21 *и* 22*)*

5. Определить минимальные среднесуточные расходы других обеспеченностей аналогично определению 30-суточных расходов (по коэффициентам λ_P из табл. 13).

6. Сравнить расходы 80 и 97%-ной обеспеченности с результатами, полученными при выполнении задания 13.

Для случаев расчетов повышенной точности значения параметров и коэффициентов в расчетных формулах следует уточнять на основе использования гидрометеорологической и географической информации за весь период наблюдений, включая последние годы, так же как и карты минимального стока.

ТЕМА IV. МАКСИМАЛЬНЫЙ СТОК

Задание 15. Расчет максимальных расходов воды весеннего половодья при наличии материалов наблюдений

Требуется:

- определить максимальные расходы воды обеспеченности 0,01, 0,1, 0,5, 1, 5 и 10%.

Дано:

- ряд срочных максимальных расходов весеннего половодья;
- районное значение соотношения C_s/C_v.

Порядок выполнения

1. Вычислить параметры и квантили кривой обеспеченности аналогично выполнению пп. 1–3 задания 1.

2. Ориентировочно оценить среднеквадратическую ошибку квантилей, пользуясь номограммой С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля (рис. 16) и формулой:

$$\varepsilon_{K_P} = \frac{E_P}{\sqrt{n}} 100\% . \qquad (15.1)$$

3. Установить, для каких обеспеченностей проведенный в п. 1 расчет является удовлетворительным при имеющейся продолжительности наблюдений.

Критерием достаточности является соотношение $\varepsilon_{K_P} \le 20\%$**.**

4. При недостаточной точности определения квантилей Q_P выполнить приведение параметров кривой обеспеченности к более длительному периоду наблюдений согласно рекомендациям задания 3.

5. Ввести гарантийную поправку ΔQ_P к расходу 0,01%-ной обеспеченности

$$\Delta Q_P = a \frac{E_{0,01\%}}{\sqrt{n}} Q_{0,01\%} . \qquad (15.2)$$

$E_{0,01\%}$, характеризующую случайную среднюю квадратическую ошибку расчетного расхода воды обеспеченности 0,01%, следует определить по табл. 15; a – коэффициент, характеризующий гидрологическую изученность рек, для гидрологически изученных районов равен 1, во всех остальных случаях (раздел 5.31 в [1]) a=1,5.

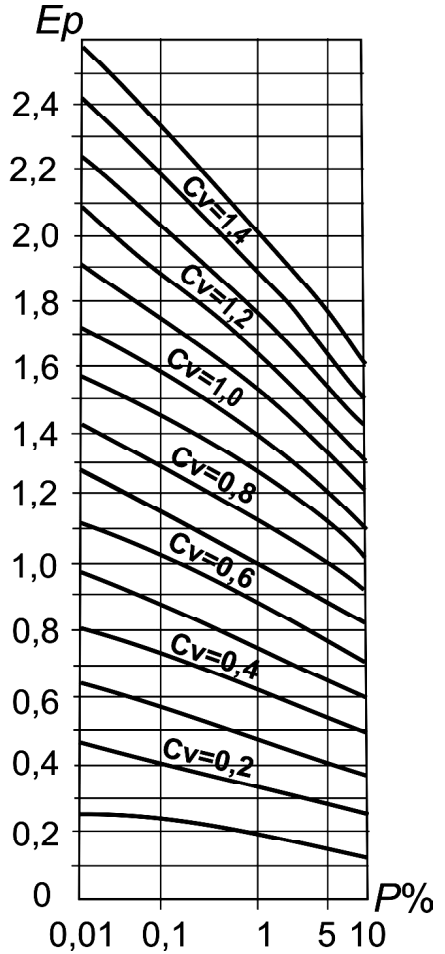


***Рис.* 16.** *Номограмма для определения величины* E_P

Значение гарантийной поправки не должно превышать 20% величины $Q_{0,01\%}$. Кроме того, принимаемый расчетный расход с учетом гарантийной поправки не должен быть меньше, чем наблюденный расход ([14], раздел 5.31).

Таблица 15

Значение $E_{0,01\%}$ для трехпараметрического гамма-распределения (по табл. Б.6 в [14])

C_s/C_v	C_v						
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Метод наибольшего правдоподобия							
2	0,45	0,60	0,75	0,88	0,96	1,05	1,14
3	0,50	0,75	1,00	1,18	1,30	1,43	1,55
4	0,70	1,00	1,30	1,48	1,60	1,74	1,88
Метод моментов							
2	0,45	0,60	0,75	0,88	0,96	1,05	1,14
3	0,57	0,84	1,10	1,34	1,55	1,74	1,93
4	0,77	1,11	1,43	1,73	2,00	2,22	2,42

Задание 16. Расчет максимальных расходов воды весеннего половодья при отсутствии материалов наблюдений

Требуется:

- определить максимальные расходы воды обеспеченности 1 и 5%.

Дано:

- гидрографические и физико-географические характеристики рассматриваемого бассейна (площадь водосбора, длина и уклон реки, заболоченность, залесенность, озерность, распаханность, тип почв, гидрогеологические условия);
- аналогичные сведения по ряду соседних бассейнов, имеющих длительные периоды гидрометрических наблюдений.

Порядок выполнения

Расчет выполняется по редукционной формуле

$$Q_P = \frac{K_0 h_P A}{\left(A + A_1\right)^{n_1}} \mu\delta\delta_1\delta_2 \qquad (16.1)$$

на основе применения метода аналогии: путем подбора водосбора-аналога с наличием данных наблюдений по стоку. Предметом аналогии является наиболее изменчивый в зависимости от физико-географических условий параметр K_0, характеризующий дружность весеннего половодья. Формула (16.1) применима для рек с площадями водосборов от элементарно малых (<1 км^2) до 20 000 км^2 для европейской части России и до 50 000 км^2 – для азиатской части России, за исключением транзитных участков рек, где происходит сильное распластывание волны половодья.

1. Подобрать несколько рек-аналогов, ориентируясь на географическую близость расположения водосборов и однотипность условий формирования стока (тип почв, гидрогеологические условия, степень озерности, залесенности и заболоченности, климатические условия), отсутствие антропогенных факторов, существенно искажающих величину естественного максимального стока.

Площади водосборов не должны отличаться более чем в 10 раз, а средние высоты для горных рек не более чем на 300 м (согласно СНиП 2.01.14-83, в [14] это требование строго не определено). Необходимо также убедиться в сходстве морфометрических показателей бассейнов:

$$\frac{L}{A^{0,56}} \approx \frac{L_{\text{ан}}}{A_{\text{ан}}^{0,56}}; \qquad (16.2)$$

$$I\sqrt{A} \approx I_{\text{ан}}\sqrt{A_{\text{ан}}}, \qquad (16.3)$$

где L и $L_{\text{ан}}$ – длина исследуемой реки и реки-аналога; I и $I_{\text{ан}}$ – уклон исследуемой реки и реки-аналога.

2. По фактическим рядам наблюдений на реках-аналогах рассчитать максимальные расходы воды весеннего половодья 1%-ной обеспеченности $Q_{1\%}^{\text{ан}}$.

3. Обратным пересчетом определить параметр K_0 по рекам-аналогам

$$K_0^{\text{ан}} = \frac{Q_{1\%}^{\text{ан}}\left(A^{\text{ан}} + A_1\right)^{n_1}}{h_{1\%}^{\text{ан}} A^{\text{ан}} \delta^{\text{ан}} \delta_1^{\text{ан}} \delta_2^{\text{ан}}}. \qquad (16.4)$$

Для определения $K_0^{ан}$ указанным способом необходимо:

а) определить параметры A_1 и n_1 (табл. 16, рис. 6);

Таблица 16

Параметры A_1 и n_1 для равнинных рек (по табл. 10 в [11])

Природная зона	n_1	A_1
Зона тундры и лесная зона (ЕТР, Западная и Восточная Сибирь)	0,17	1
Лесостепная зона (ЕТР и Западная Сибирь)	0,25	2
Степная зона, зона засушливых степей и полупустынь (ЕТР, Западная Сибирь)	0,35	10

б) определить средний многолетний слой стока весеннего половодья h_0 по карте ГГИ (рис. 17) из [1]. Для рек степной зоны

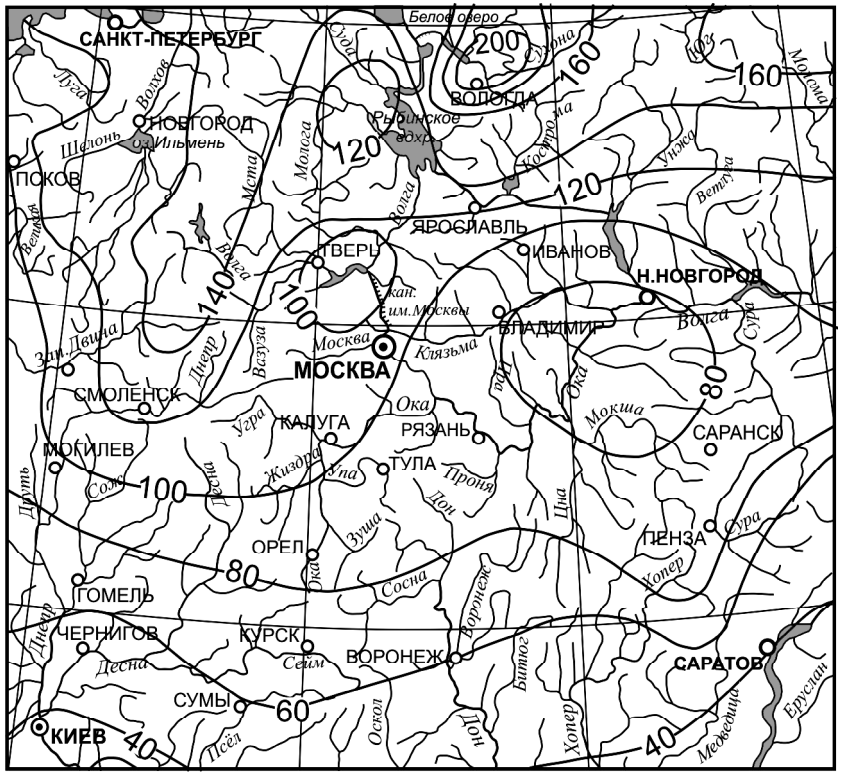


***Рис.* 17**. *Среднемноголетний слой стока половодья (*[1]*, лист* 6*)*

ввести поправку на площадь водосбора (табл. 17). При наличии проточных озер на водосборе ввести поправочный коэффициент по табл. 18;

Таблица 17

Поправочные коэффициенты к значениям среднего многолетнего слоя весеннего стока h_0 для степной зоны (по табл. 11 в [11])

h_0, мм	Площадь водосбора, км^2			
	200	500	1000	3000
10	1,8	1,5	1,3	1,0
20	1,6	1,3	1,2	1,0
30	1,4	1,2	1,1	1,0
50	1,2	1,1	1,0	1,0

Таблица 18

Значения коэффициентов снижения слоя стока весеннего половодья проточными озерами δ (по табл. 12 в [11])

$A_{оз}$ (%) в нижней части	$A_{оз}$ (%) в верхней части	δ
0–8,6	от 0 до 2,8	0,9–0,8
8,7–19,5	от 2,9 до 6,4	0,8–0,6
более 19,5	более 6,4	0,6

здесь $A_{оз}$ – средневзвешенная озерность.

в) определить C_v слоя стока весеннего половодья по карте (рис. 18);

г) расчетное значение C_s/C_v определяется по карте (рис. 18);

д) по параметрам h_0, $C_{v,h}$ и C_s/C_v определить $h_{1\%}$;

е) рассчитать коэффициент понижения максимального стока рек, зарегулированных проточными озерами, по формуле:

$$\delta = \frac{1}{1 + cf'_{оз}}, \qquad (16.5)$$

где c – коэффициент, принимаемый равным 0,2 для лесной и лесостепной зон; 0,4 для степной зоны; $f'_{оз}$ – средневзвешенная озерность, определяемая по формуле:

$$f'_{оз} = \sum \left(100 S_i f_i / A^2\right), \qquad (16.6)$$

где A – площадь водосбора в расчетном створе реки, км^2; S_i – площадь зеркала озера, км^2; f_i – площадь водосбора озера, км^2. При отсутствии сведений о средневзвешенной озерности допускается использовать относительную озерность. В этом случае коэффициент c для всех зон принимается равным 0,1 (раздел 8.1 в [5]);

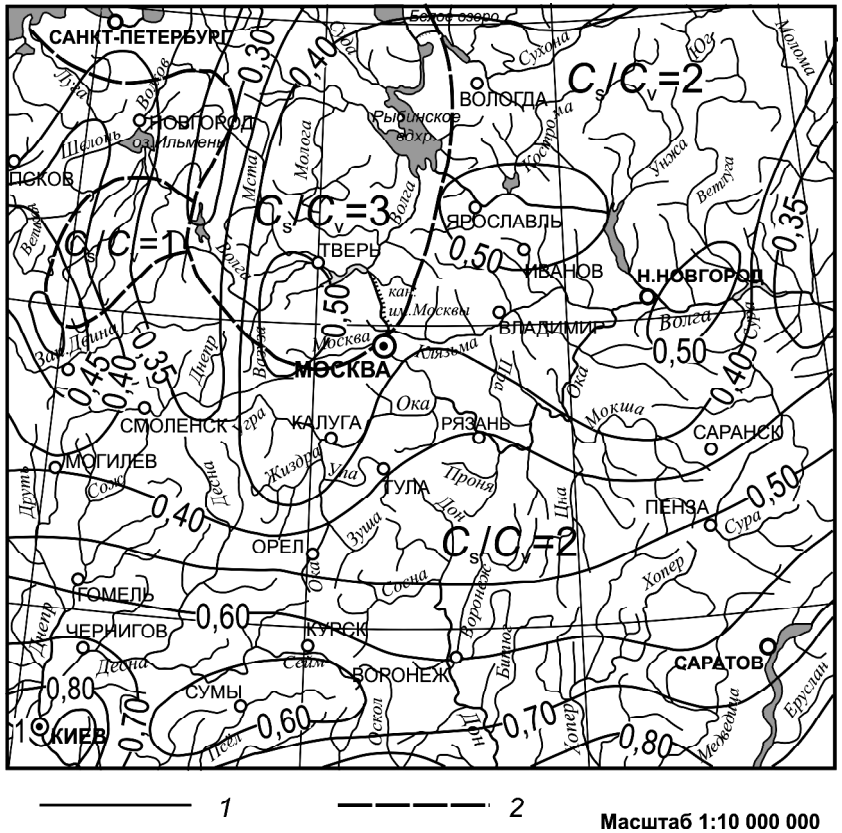


***Рис.* 18.** *Коэффициент вариации слоя стока половодья (1) и соотношение* C_s/C_v *(2) ([1], листы* 8, 9*)*

ж) коэффициент δ_1, учитывающий снижение максимальных расходов воды в залесенных бассейнах, определяется по формуле

$$\delta_1 = \frac{\alpha}{\left(A_л + 1\right)^{n'}}, \qquad (16.7)$$

где α и n' определяются по табл. 19; $A_л$ – залесенность водосбора, %;

Таблица 19

Значения параметров α и n' в формуле $\delta_1 = \frac{\alpha}{\left(A_л + 1\right)^{n'}}$

(Приложение В.5 в [5])

Природная зона	Расположение леса на водосборе	Параметр α при $A_л$, %			n'
		3–9	10–19	20–30	
Лесная	А	1,00	1,00	1,00	0,22
	В	0,85	0,80	0,75	
	С	1,20	1,25	1,30	
Лесостепная	А, С	1,00	1,00	1,00	0,16
	В	1,25	1,30	1,40	

Примечание. Расположение леса в табл. 19 принимается условно: А – равномерное, В – в верхней части водосбора, С – в нижней и прирусловой части водосбора.

з) коэффициент δ_2, учитывающий снижение максимальных расходов воды заболоченных бассейнов, определяется по формуле

$$\delta_2 = 1 - \beta \lg\left(0{,}1A_б + 1\right), \qquad (16.8)$$

где β определяются по табл. 20; $A_б$ – заболоченность, %.

Таблица 20

Значения коэффициента β для различных типов болот в формуле $\delta_2 = 1 - \beta \lg\left(0{,}1A_б + 1\right)$ (Приложение В.6 в [5])

Тип болота	β
Низинные, на водосборах, сложенных супесчаными и легкосуглинистыми почвами	0,8
Болота разных типов	0,7
Верховые на водосборах, сложенных почвами:	
супесчаными и легкосуглинистыми	0,5
среднесуглинистыми и глинистыми	0,3

Примечание. При заболоченности менее 3% или при проточной средневзвешенной озерности более 6% коэффициент δ_2 принимается равным 1 ([14], раздел 7.36).

4. Проанализировать полученные по бассейнам-аналогам K_0. В качестве расчетного значения принять K_0 для бассейна-аналога с наиболее близкими к расчетному бассейну условиями формирования стока. При незначительной дифференциации K_0 принять в качестве расчетного среднее значение. Если отсутствует отчетливое суждение о близости условий формирования стока весеннего половодья на реках-аналогах и на рассматриваемом водосборе, рекомендуется принять максимальное значение K_0.

5. Вычислить по расчетной формуле максимальные расходы весеннего половодья 1 и 5%-ной обеспеченности, используя параметр K_0, полученный в п. 4. Коэффициент μ определить по табл. 21.

Таблица 21

Значения коэффициента μ, учитывающего неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды (по табл. 9 в [11])

Природная зона	P, %			
	1	3	5	10
Тундра и лесная зона	1,0	0,97	0,96	0,93
Лесостепная	1,0	0,96	0,93	0,89
Степная	1,0	0,97	0,96	0,93

6. Сравнить $Q_{1\%}$ и $Q_{5\%}$, полученные в п.5, с аналогичными величинами из задания 15.

Согласно п. 7.25 в [14], значения параметров и коэффициентов в расчетных формулах следует уточнять на основе использования гидрометеорологической и географической информации за весь период наблюдений, включая последние годы. Согласно пп. 7.31, 7.32 в [14], h_0 и $C_{v,h}$ следует определять с введением соответствующих поправок по данным рек-аналогов или интерполяцией по картам, построенным для исследуемого района с учетом последних лет наблюдений.

Задание 17. Расчет максимальных расходов воды дождевых паводков при наличии материалов наблюдений

Требуется:

- определить максимальные расходы воды обеспеченностью 1, 5 и 10%.

Дано:

- таблицы «Ежедневных расходов воды» за период наблюдений.

Порядок выполнения

1. Сделать из таблиц ежедневных расходов воды выборку максимальных в году расходов дождевых паводков.

2. Построить эмпирическую кривую обеспеченности и определить параметры Q, C_v и C_s, аналогично п. 1 задания 15; вычислить расходы заданной обеспеченности.

3. Определить достаточность имеющегося ряда наблюдений аналогично п. 3 задания 15 и с учетом необходимости выполнения соотношения $\varepsilon_{K_P} \le 20\%$.

Задание 18. Расчет максимальных расходов воды дождевых паводков при отсутствии материалов наблюдений по редукционной формуле

Требуется:

- определить максимальные расходы воды обеспеченности 1, 5 и 10% по формуле ГГИ непосредственно и с использованием данных по реке-аналогу.

Дано:

- гидрографические и физико-географические характеристики рассматриваемого бассейна (площадь водосбора, длина и уклон реки, заболоченность, залесенность, озерность, распаханность, тип почв, гидрогеологические условия);
- аналогичные сведения по ряду соседних бассейнов, имеющих длительные периоды гидрометрических наблюдений.

Порядок выполнения

При отсутствии рек-аналогов расчет выполняется по редукционной формуле типа II

$$Q_P = q_{200}\left(\frac{200}{A}\right)^n \lambda_P \delta\delta_2 A\,. \qquad (18.1)$$

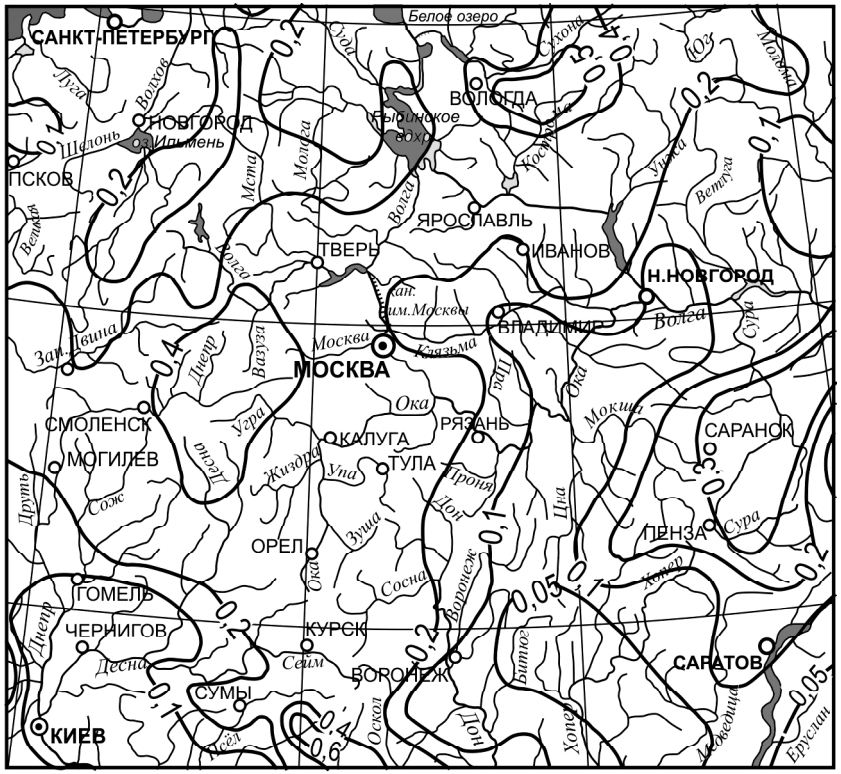
Выбор типа расчетной формулы (редукционной или предельной интенсивности) для определения максимального срочного расхода воды дождевого паводка заданной вероятности превышения следует производить согласно табл. Б.7 из [14].

1. Определить q_{200}, n и λ_P по рис. 19, 20, 21 и данным табл. 22.

Таблица 22

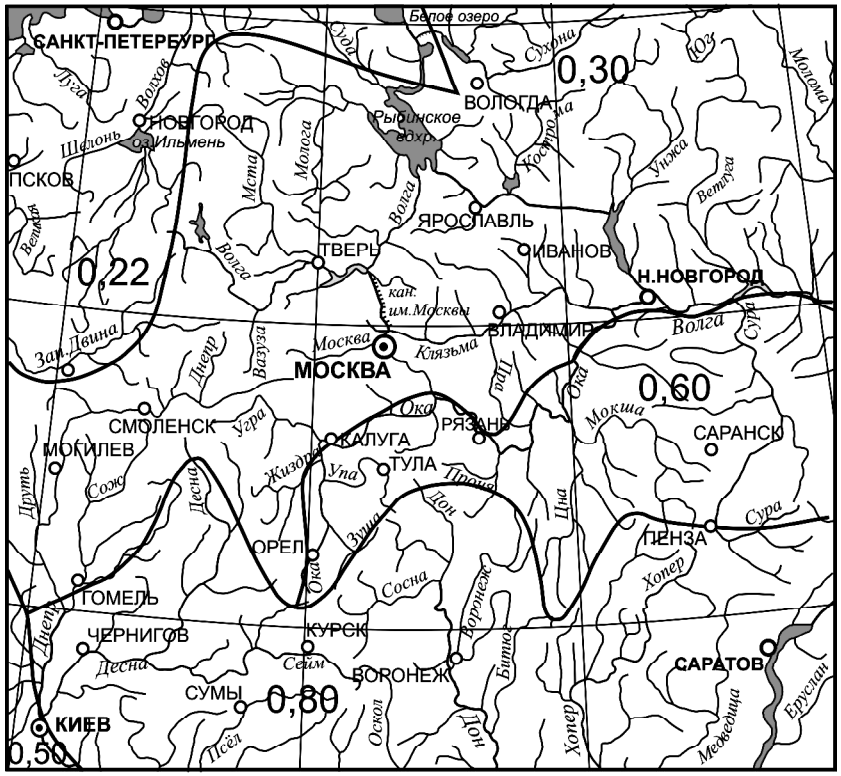
Переходные коэффициенты λ_P от максимальных расходов воды обеспеченностью P=1% к другим вероятностям превышения (Приложение 2, табл. 8 в [11])

Номер района ≥по рис. 21	Площадь водосбора, км^2	Вероятность превышения P, %		
		1	5	10
1	>0	1,0	0,64	0,54
2	>0,1	1,0	0,67	0,55
3	>0	1,0	0,80	0,69
4	≥100	1,0	0,70	0,60
5	>0	1,0	0,62	0,46
6	>0	1,0	0,42	0,30
11	≥100	1,0	0,55	0,40



Масштаб 1:10 000 000

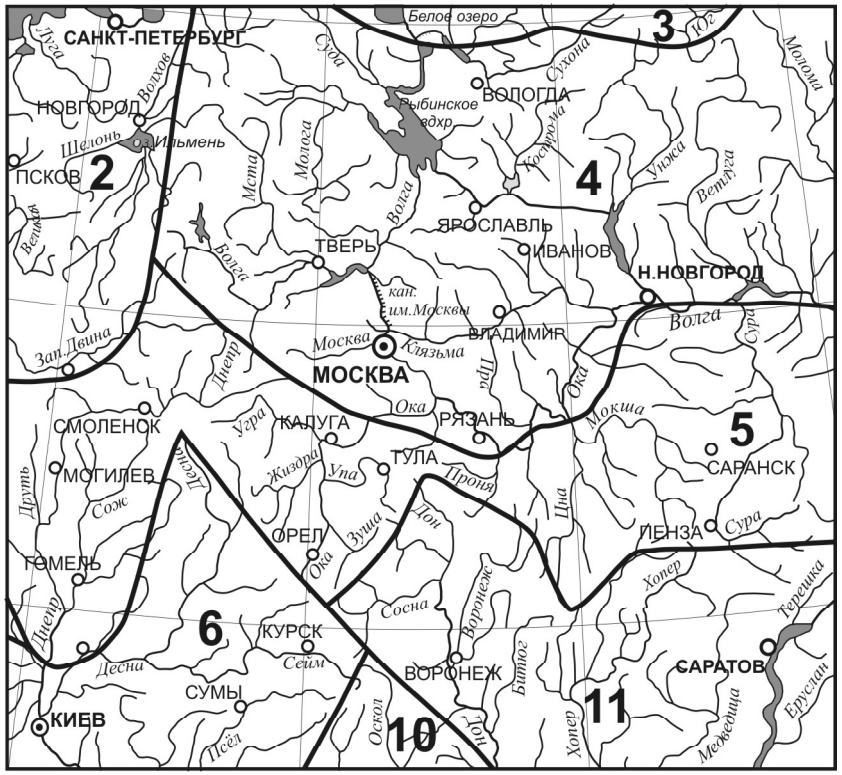
***Рис.* 19.** *Параметр q_{200} вероятностью превышения 1% (*[1]*, лист* 12*)*



Масштаб 1:10 000 000

Рис. 20. *Схема районов значений показателя степени редукции максимального модуля дождевого стока (*[1]*, лист* 11*)*

Согласно п. 7.25 в [14], значения параметров и коэффициентов в расчетных формулах следует уточнять на основе использования гидрометеорологической и географической информации за весь период наблюдений, включая последние годы. Согласно п. 7.43 в [14], при отсутствии современной региональной карты параметр q_{200} для исследуемой реки определяют интерполяцией между значениями этой характеристики, полученными для близко расположенных и гидрологически изученных рек. Для рек горных и полугорных – на основе анализа графика связи q_{200} от средней высоты водосбора.



Масштаб 1:10 000 000

***Рис.* 21.** *Схема районирования параметров* λ_P *и* λ'_P *(*[1]*, лист* 11)

2. Принять δ и δ_2 по п. 3 задания 16.

3. Вычислить Q_P по расчетной формуле (18.1).

4. Сравнить значения Q_P с величинами, полученными в задании 17.

5. Подобрать реку-аналог, руководствуясь рекомендациями п. 1 задания 16. Рассчитать максимальные расходы дождевых паводков реки-аналога, руководствуясь указаниями задания 17.

Различие в ΔL не должно быть больше, чем в 1,5–2 раза, а ΔI – не более чем в 2-3 раза.

6. Произвести расчет по редукционной формуле типа I

$$Q_P = q_{P,\text{ан}} \left(\frac{A_{\text{ан}}}{A} \right)^{n_3} \frac{\delta\delta_2}{\delta_{\text{ан}}\delta_{2,\text{ан}}} A \,. \qquad (18.2)$$

Здесь $q_{P,\text{ан}}$ – модуль стока реки-аналога заданной обеспеченности P.

7. Сравнить полученные в п. 6 величины с расходами п. 3 настоящего задания и с величинами задания 17.

Задание 19. Расчет максимальных расходов воды дождевых паводков по формуле предельной интенсивности стока

Требуется:

- определить максимальные расходы воды обеспеченностью 1 и 5%.

Дано:

- гидрографические характеристики малого водотока: площадь A, км^2; длина L, км; средневзвешенный уклон русла $i_р$, ‰; средний уклон водосбора $i_в$, ‰; заболоченность $f_б$, %; лесистость $f_л$, %; озерность $f_{оз}$, %; характеристика почвогрунтов; характеристика русла и поверхности склонов; густота гидрографической сети бассейна ρ, км/км^2.

Порядок выполнения

Формула предельной интенсивности имеет вид

$$Q_P = q'_{1\%} \varphi H_{1\%} \lambda_P \delta A \,, \qquad (19.1)$$

где $q'_{1\%}$ – максимальный модуль стока обеспеченностью 1%, выраженный в долях от произведения $\varphi H_{1\%}$ при δ=1; δ имеет тот же смысл, что и в заданиях 16 и 18. Обычно она применяется для определения Q_P для водосборов площадью менее 200 км^2.

1. Определить суточный слой осадков 1%-ной обеспеченности по рис. 22.

Согласно п. 7.46 в [14], значения следует определять по многолетним данным о максимальных суточных дождевых осадках метеостанций, ближайших к бассейну исследуемого водотока, которые имеют наибольшую длительность наблюдений, или по региональной карте этой характеристики (образец такой карты на рис. 22), построенной с учетом наблюдений последних лет.

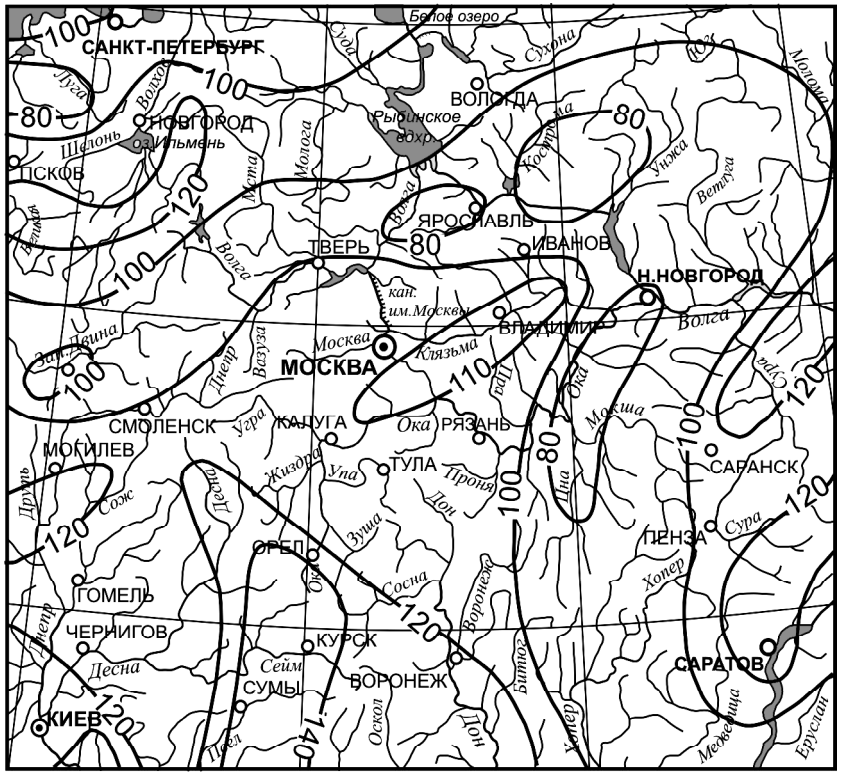


Рис. 22. *Суточный слой осадков вероятностью превышения 1% за теплый период (*[1]*, лист* 15*)*

2. Определить сборный коэффициент стока φ по формуле:

$$\varphi = c_2 \frac{\varphi_0}{(A+1)^{n_6}} \left(\frac{i_в}{50}\right)^{n_6}, \qquad (19.2)$$

где эмпирический коэффициент c_2 принимается равным 1,2 для лесной и тундровой зон, а для остальных зон – 1,3; φ_0 – сборный коэффициент стока для водосбора с площадью A=10 км^2 и средним уклоном водосбора $i_в$=50‰ принимается по табл. 23; параметр n_5 определяется по табл. 23; показатель степени редукции n_6 принимается равным 0,07 для лесной зоны и 0,11 – для остальных природных зон.

Таблица 23

Значения параметров φ_0 и n_5 (табл. 11 в [11])

Природная зона	Тип почв	Механический состав почв					
		А		Б		В	
		φ_0	n_5	φ_0	n_5	φ_0	n_5
Лесная	Глеево-подзолистые	0,42	0,50	0,28	0,65	0,23	0,80
	Подзолистые, серые лесные	0,56	0,50	0,38	0,65	0,30	0,80
Лесостепная	Подзолистые, серые лесные, черноземы мощные	0,66	0,60	0,54	0,70	0,27	0,90
	Черноземы выщелоченные, темно-каштановые	0,59	0,70	0,22	0,85	0,14	1,00
Степная и засушливых степей	Черноземы выщелоченные	0,18	0,80	0,10	0,90	0,05	1,00
	Каштановые серозёмы карбонатные	0,29	0,90	0,14	0,90	0,12	1,00

А – глинистый и тяжелосуглинистый мехсостав; Б – среднесуглинистый и суглинистый; В – супесчаный, песчаный, меловой, трещиноватый

При наличии реки-аналога сборный коэффициент стока φ определяют в соответствии с рекомендациями п. 7.46 в [14].

3. Вычислить произведение $\varphi H_{1\%}$.

4. Определить продолжительность склонового добегания $\tau_{ск}$. Для этого необходимо:

а) вычислить гидроморфометрическую характеристику склонов водосбора $\Phi_{ск}$:

$$\Phi_{ск} = \frac{\sqrt{1000\bar{l}}}{n_{ск} i_в^{1/4} (\varphi H_{1\%})^{1/2}}, \qquad (19.3)$$

где $\bar{l}$ – средняя длина (км) безрусловых склонов водосбора $\bar{l} = 1/1{,}8\rho$ (здесь ρ – густота русловой сети, км/км^2), $n_{ск}$ – коэффи-

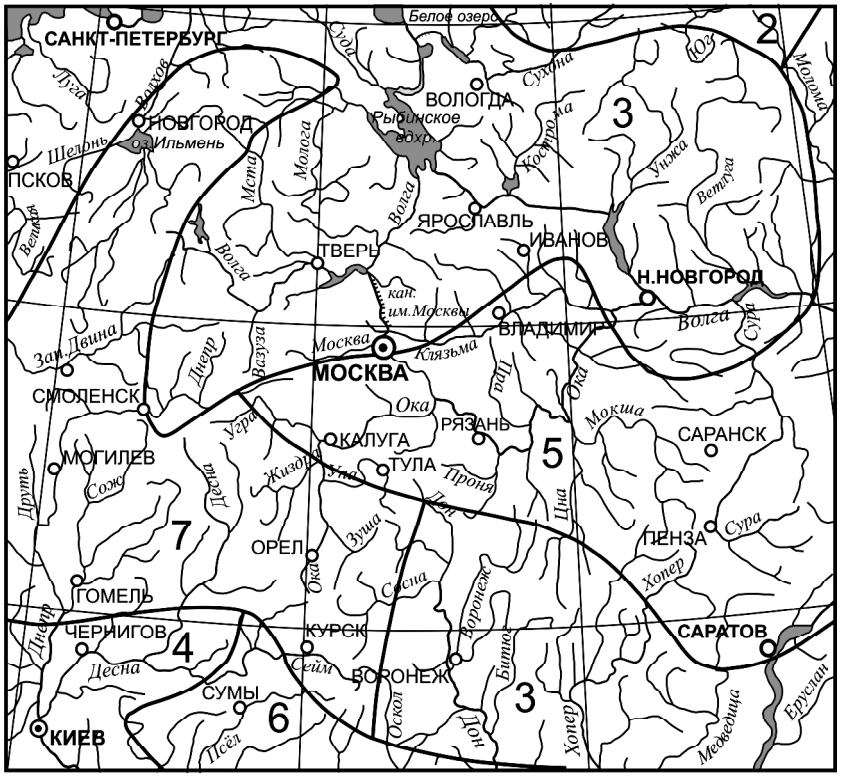
циент, характеризующий шероховатость склонов водосбора, определяется по табл. 24;

Таблица 24

Значения коэффициента $n_{ск}$, характеризующего шероховатость склонов (Приложение 2, табл. 13 в [11])

Характеристика поверхности склонов	Травяной покров		
	редкий	обычный	густой
Укатанная спланированная поверхность	0,40	0,30	0,25
Поверхность без кочек	0,30	0,25	0,20
Кочковатая поверхность, таежные завалы	0,20	0,15	0,10

б) по карте (рис. 23) определить номер района типовых кривых редукции осадков;



Масштаб 1:10 000 000

***Рис.* 23.** *Схема районов типовых кривых редукции осадков (*[1]*, лист* 14*)*

в) по табл. 25 определить $\tau_{ск}$ в зависимости от $\Phi_{ск}$ и номера района.

Таблица 25

Значения $\tau_{ск}$, мин (Приложение 2, табл. 12 в [11])

$\Phi_{ск}$	Номера районов типовых кривых редукции осадков		
	7	5	3
2	11	11	12
2,5	15	15	17
3	19	20	22
4	28	30	34
5	39	43	47
6	53	58	62
7	67	76	80
8	85	93	100
9	105	115	120
10	130	140	150

При отсутствии данных о характере поверхности склонов можно в первом приближении принять следующие величины склонового добегания (мин):

Природная зона	Заболоченность, %	$\tau_{ск}$, мин
тундровая и лесная	<20%	60
	20–40%	100
	>40%	150
лесостепная	–	60
степная	–	30
полупустынная	–	10

Следует иметь в виду, что редукционные кривые осадков, приведенные в [11], основаны на данных наблюдений до 1960-х гг. и требуют, согласно [14], обязательного уточнения.

5. Определить гидроморфометрическую характеристику русла $\Phi_р$:

$$\Phi_р = \frac{1000L}{m_р i_р^{1/3} A^{1/4} (\varphi H_{1\%})^{1/4}}, \qquad (19.4)$$

где $m_р$ – гидравлический параметр русла, определяется по табл. 26.

Таблица 26

Значения параметра русловой шероховатости $m_р$, м/мин (по табл. 27 в [11])

Характеристика русла и поймы	$m_р$, м/мин
Чистые русла постоянных равнинных рек, русла периодически пересыхающих водотоков	11
Извилистые, частично заросшие русла больших и средних рек, периодически пересыхающие водотоки, несущие во время паводка большое количество наносов	9
Сильно засоренные и извилистые русла периодически пересыхающих водотоков	7

6. Определить $q'_{1\%}$ по табл. 27 в зависимости от номера района типовой кривой редукции осадков, $ф_р$ и $\tau_{ск}$.

Таблица 27

Максимальный модуль дождевого стока и долях от произведения $\varphi H_{1\%}$ (Приложение 2, табл. 9 в [11])

Для типа 3 кривых редукции осадков

$Ф_р$	Продолжительность склонового добегания $\tau_{ск}$, мин					
	10	30	60	100	150	200
0	0,45	0,25	0,16	0,11	0,075	0,062
1	0,42	0,24	0,15	0,10	0,074	0,060
5	0,32	0,21	0,14	0,095	0,070	0,055
10	0,25	0,17	0,12	0,085	0,065	0,053
20	0,15	0,12	0,088	0,068	0,055	0,048
30	0,10	0,085	0,070	0,058	0,045	0,042
40	0,076	0,067	0,058	0,050	0,043	0,036
50	0,060	0,054	0,049	0,047	0,038	0,032
60	0,050	0,046	0,042	0,038	0,034	0,029
70	0,043	0,040	0,036	0,033	0,030	0,027
80	0,037	0,035	0,032	0,030	0,027	0,025
90	0,033	0,031	0,029	0,027	0,025	0,023
100	0,030	0,028	0,026	0,024	0,023	0,021
150	0,018	0,018	0,017	0,017	0,016	0,015
200	0,014	0,013	0,013	0,013	0,012	0,012
250	0,011	0,010	0,010	0,010	0,0098	0,0094
300	0,0085	0,0084	0,0082	0,0082	0,0080	0,0078

Для типа 5 кривых редукции осадков

$Ф_р$	Продолжительность склонового добегания $\tau_{ск}$, мин					
	10	30	60	100	150	200
0	0,52	0,27	0,17	0,11	0,082	0,066
1	0,47	0,26	0,16	0,11	0,080	0,065
5	0,37	0,22	0,14	0,10	0,075	0,060
10	0,28	0,18	0,13	0,090	0,070	0,055
20	0,16	0,13	0,096	0,074	0,060	0,050
30	0,11	0,094	0,077	0,060	0,050	0,042
40	0,084	0,073	0,062	0,051	0,045	0,037
50	0,066	0,059	0,052	0,045	0,038	0,032
60	0,054	0,049	0,044	0,039	0,034	0,029
70	0,045	0,042	0,038	0,035	0,030	0,027
80	0,038	0,037	0,033	0,031	0,028	0,025
90	0,034	0,032	0,030	0,028	0,025	0,023
100	0,030	0,029	0,027	0,025	0,023	0,021
150	0,019	0,018	0,017	0,017	0,016	0,015
200	0,013	0,013	0,013	0,013	0,012	0,011
250	0,010	0,010	0,010	0,010	0,0096	0,0091
300	0,0084	0,0083	0,0083	0,0082	0,0080	0,0077

Для типа 7 кривых редукции осадков

$Ф_р$	Продолжительность склонового добегания $\tau_{ск}$, мин					
	10	30	60	100	150	200
0	0,53	0,35	0,19	0,12	0,088	0,070
1	0,51	0,33	0,18	0,12	0,086	0,068
5	0,41	0,26	0,16	0,11	0,080	0,065
10	0,31	0,21	0,14	0,10	0,075	0,060
20	0,19	0,14	0,11	0,084	0,065	0,055
30	0,12	0,10	0,082	0,070	0,055	0,050
40	0,093	0,080	0,066	0,058	0,047	0,039
50	0,072	0,064	0,054	0,048	0,040	0,034
60	0,059	0,053	0,047	0,041	0,035	0,031
70	0,050	0,045	0,040	0,036	0,031	0,028
80	0,041	0,038	0,035	0,032	0,028	0,025
90	0,036	0,034	0,031	0,028	0,026	0,023
100	0,031	0,030	0,028	0,026	0,023	0,021
150	0,019	0,018	0,018	0,017	0,016	0,015
200	0,013	0,013	0,013	0,012	0,012	0,011
250	0,010	0,010	0,010	0,0097	0,0094	0,0091
300	0,0083	0,0083	0,0083	0,0081	0,0079	0,0076

7. Вычислить коэффициент δ аналогично заданию 16.

8. Вычислить максимальный расход воды 1%-ной обеспеченности по формуле (19.1): $Q_{1\%} = q_{1\%}^{f}\varphi H_{1\%}\delta A$.

9. Вычислить максимальный расход воды 5%-ной обеспеченности $Q_{5\%} = \lambda_{5\%}Q_{1\%}$. Коэффициент $\lambda_{5\%}$ определить по табл. 22 и рис. 21.

Задание 20. Построение расчетного гидрографа по моделям наблюдавшихся весенних половодий

Требуется:

- построить гидрограф половодья обеспеченностью 5%.

Дано:

- таблицы ежедневных расходов воды по всем годам наблюдений.

Порядок выполнения

1. Определить объем стока W и слой стока h за половодье за каждый год по таблицам ежедневных расходов воды.

2. Построить кривую обеспеченности $P(h)$.

3. Из имеющегося ряда наблюдений отобрать три-четыре наиболее высоких половодья, построить их гидрографы и определить характеристики формы и дружности:

а) коэффициент полноты формы гидрографа γ',

$$\gamma' = \frac{\tilde{Q}_{\text{макс}}}{Q_{\text{ср}}} = \frac{\tilde{q}_{\text{макс}}T}{0,0116h}, \qquad (20.1)$$

где $\tilde{Q}_{\text{макс}}$ – среднесуточный максимальный расход; $\tilde{q}_{\text{макс}}$ – среднесуточный максимальный модуль стока, м^3/с; T – продолжительность половодья, сут.; $Q_{\text{ср}} = W \big/ T\,(\text{сек}) = 0,0116hA/T\,(\text{сут})$,

б) коэффициент формы гидрографа λ*:

$$\lambda^* = \frac{\tilde{q}_{\text{макс}}t_{\text{п}}}{0,0116h} = \frac{\overline{Q}_{\text{макс}}}{Q_{\text{ср}}}\frac{t_{\text{п}}}{T} = \gamma'\frac{t_{\text{п}}}{T}, \qquad (20.2)$$

где $t_{\text{п}}$ – продолжительность подъема половодья, сут.;

в) коэффициент несимметричности гидрографа K_s:

$$K_s = \frac{h_{\text{п}}}{h} = \frac{W_{\text{п}}}{W}, \qquad (20.3)$$

где $W_{\text{п}}$ – объем стока половодья за время подъема $t_{\text{п}}$;

г) коэффициент дружности $K_{\text{д}}$:

$$K_{\text{д}} = \tilde{q}_{\text{макс}} \big/ h. \qquad (20.4)$$

4. Вычислить по трем-четырем отобранным наиболее высоким половодьям соотношение максимальных суточных и мгновенных расходов в виде коэффициента K_τ:

$$K_\tau = Q_{\text{макс}} \big/ \tilde{Q}_{\text{макс}}. \qquad (20.5)$$

Сравнить K_τ в различные годы; вычислить среднее значение.

5. Из трех-четырех половодий выбрать модель по следующим признакам:

а) максимальный расход модели должен быть близок к максимуму расчетной обеспеченности;

б) объем стока модели должен быть близок к объему половодья заданной обеспеченности;

в) форма гидрографа модели должна быть наиболее неблагоприятна для работы проектируемых сооружений.

Считать неблагоприятной такую форму гидрографа, при которой наблюдается наибольшая концентрация объема вблизи максимальной ординаты гидрографа. Для обоснования выбранной модели проанализировать соотношение коэффициентов γ', λ*, K_s и $K_{\text{д}}$ по каждому половодью и сравнить эти коэффициенты за разные годы.

6. Вычислить среднесуточный максимальный расход заданной обеспеченности

$$\tilde{Q}_P = \frac{1}{K_\tau}Q_P, \qquad (20.6)$$

где K_τ берется по (20.5).

7. Вычислить переходные коэффициенты для пересчета координат гидрографа модели в координаты расчетного гидрографа:

$$K_Q = \frac{\tilde{Q}_P}{Q_{\text{модель}}}, \qquad (20.7)$$

$$K_t = \frac{K_{\text{д модель}}}{K_{\text{д расч}}} = \frac{T_{\text{расч}}}{T_{\text{модель}}}, \qquad (20.8)$$

где $K_{\text{д расч}} = \tilde{q}_P / h_P$. Причем h_P определяется по кривой обеспеченности (п. 2).

8. Пересчитать координаты гидрографа модели в координаты расчетного гидрографа по формулам $Q_i^{P\%} = Q_{i,\text{мод}} \cdot K_Q$ и $t_i^{P\%} = t_{i,\text{мод}} \cdot K_t$. Число *i*-ых точек должно быть не менее семи-девяти даже при простой форме гидрографа. Построить расчетный гидрограф (рис. 24).

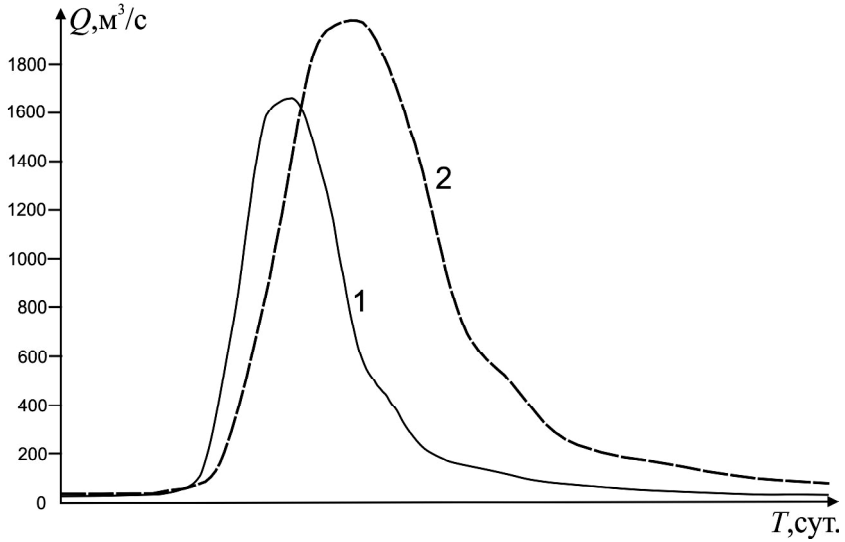


***Рис.* 24.** *Пример фактического гидрографа (модели) весеннего половодья (1) и расчетного гидрографа обеспеченностью 5% (2)*

9. Проверить равенство $K_{s,P} = K_{s,\text{мод}}$ и $\gamma_P = \gamma_{\text{мод}}$.

Задание 21. Построение расчетного гидрографа весеннего половодья при отсутствии материалов наблюдений по типовому уравнению

Требуется:

- построить гидрограф половодья обеспеченностью 5%.

Дано:

- результаты расчетов, выполненных в задании 16 и 20 (максимальный мгновенный расход $Q_{5\%}$ и слой стока половодья $h_{5\%}$),
- данные по коэффициентам несимметричности гидрографа K_s для рек района по результатам расчетов, выполненных в задании 20.

Порядок выполнения

1. Проанализировать изменение K_s по рекам изучаемого района (материалы, выполненные всей учебной группой по заданию 20) и подобрать реку-аналог для определения величины K_s по признакам географической близости, равенства площадей водосборов, характеристик формы бассейна ΔL и ΔI, ландшафтных условий.

2. По функции $K_s = f(\lambda^*)$ определить коэффициент формы половодья λ^* (табл. 29).

3. Вычислить максимальный среднесуточный расход заданной обеспеченности $\tilde{Q}_P = \frac{1}{K_\tau} Q_P$, определив K_τ по табл. 28 в зависимости от природной зоны и площади водосбора. Вычислить среднесуточный максимальный модуль стока заданной обеспеченности $\tilde{q}_P$, м³/с.

4. Вычислить условную продолжительность подъема половодья $t_{\text{п}}$, сут.

$$t_{\text{п}} = \frac{0{,}0116 \lambda^* h_P}{\tilde{q}_P}. \qquad (21.1)$$

5. Выписать относительные координаты гидрографа в зависимости от величины λ^* из табл. 29.

6. Определить абсолютные значения ординат расчетного гидрографа, как $Q_i = y_i \tilde{Q}_{\text{макс}}$ и соответствующие им абсциссы $T_i = x_i t_{\text{п}}$, сут.

Таблица 28

Величины переходных коэффициентов K_τ от расчетных мгновенных максимальных расходов Q_P к среднесуточным расходам (по табл. 34 в [11])

Природная зона	Площадь водосбора, км^2						
	10	50	100	500	1000	2000	5000
Северная часть лесной зоны (тайга)	1,3	1,2	1,15	1,05	1,0	1,0	1,0
Южная часть лесной зоны (смешанные и лиственные леса)	2,1	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0
Лесостепная	2,5	2,0	1,9	1,4	1,3	1,15	1,0
Степная	2,8	2,1	1,9	1,4	1,3	1,15	1,0

7. Построить гидрограф половодья по данным п. 6 и сравнить его с гидрографом, полученным в задании 20.

Задание 22. Построение расчетного гидрографа дождевого паводка по типовому уравнению при отсутствии материалов гидрометрических наблюдений

Требуется:

- построить гидрограф паводка 5%-ной обеспеченности.

Дано:

- максимальный мгновенный расход $Q_{5\%}$ по заданию 18,
- коэффициент K_s по рекам-аналогам.

Порядок выполнения

1. Определить K_s по реке-аналогу и λ* по функции $K_s=f(\lambda^*)$ (см. табл. 29), причем в первом приближении можно принять K_s=0,30.

2. Вычислить среднесуточный максимальный расход $\widetilde{Q}_P = \frac{1}{K_\tau} Q_P$ и соответствующий ему модуль стока $\widetilde{q}_P$. Коэффициент K_τ взять по табл. 28.

Таблица 29

Значения расходов воды в долях от максимального расхода (Приложение 2, табл. 19 в[11])

x	Коэффициент формы половодья λ*																				
	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,6								
0,2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						0,00									
0,4	0,28	0,19	0,12	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00									
0,6	0,69	0,61	0,54	0,47	0,39	0,33	0,27	0,18	0,12	0,07	0,04	0,02	0,00								
0,8	0,93	0,91	0,89	0,87	0,84	0,81	0,78	0,72	0,66	0,59	0,52	0,46	0,34								
1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00								
1,2	0,95	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,85	0,80	0,76	0,70	0,65	0,60	0,49								
1,4	0,85	0,81	0,77	0,72	0,67	0,62	0,57	0,48	0,38	0,30	0,23	0,17	0,08								
1,6	0,73	0,66	0,59	0,52	0,46	0,39	0,34	0,23	0,15	0,09	0,05	0,03	0,01								
1,8	0,60	0,52	0,44	0,36	0,29	0,23	0,18	0,10	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00								
2,0	0,49	0,40	0,31	0,24	0,18	0,13	0,09	0,04	0,02	0,00	0,00										
2,4	0,32	0,22	0,15	0,10	0,06	0,03	0,02	0,01	0,00												
3,0	0,15	0,09	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00													
4,0	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00																
5,0	0,01	0,00	0,00																		
K_s	0,29	0,31	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44								

3. Определить слой дождевого стока $h_{5\%}$ по карте (рис. 25) и табл. 30.

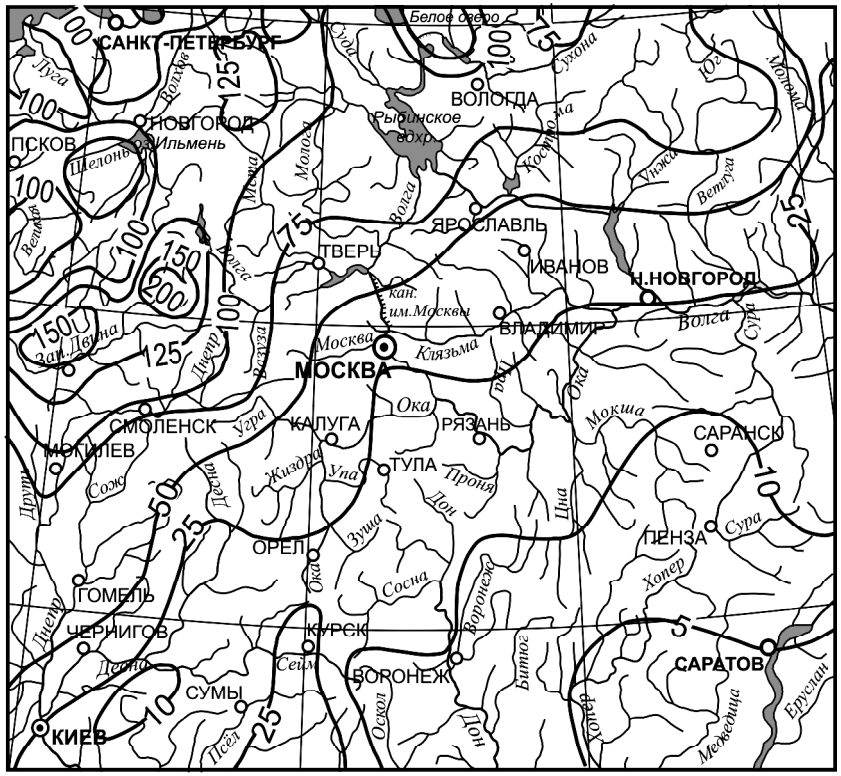


***Рис.* 25.** *Слой дождевого стока вероятностью превышения 1% (*[1], *лист* 16*)*

4. Вычислить условную продолжительность подъема $t_{\text{п}}$, сут.

$$t_{\text{п}} = \frac{0,0116\lambda^* h_P}{\tilde{q}_P}. \qquad (22.1)$$

При продолжительности подъема менее суток $t_{\text{п}}$ (в часах) следует вычислять по формуле

$$t_{\text{п}} = \frac{0,28\lambda^* h_P}{q_P}, \qquad (22.2)$$

где $q_{\text{п}}$ – мгновенный максимум.

5. По λ* и данным табл. 29 определить относительные ординаты гидрографа x и y на $t_{\text{п}}$ и $Q_{\text{п}}$. Построить гидрограф паводка.

Таблица 30

Переходные коэффициенты λ'_P от слоев стока ежегодной вероятности превышения P=1% к слоям стока другой обеспеченности (Приложение 2, табл. 16 в [11])

Номер района по рис. 21	Площадь водосбора A, км^2	Вероятности превышения		
		1	5	10
1, 2, 4, 5	>0	1,0	0,68	0,52
3	>0	1,0	0,63	0,47
6	>100	1,0	0,56	0,40
	>0,1	1,0	0,56	0,28
7	>0	1,0	0,50	0,35
11	>100	1,0	0,55	0,40
	A=0,1	1,0	0,44	0,27

ТЕМА V. УЧЕТ И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА ПОД ВЛИЯНИЕМ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Задание 23. Установление времени начала нарушения естественного стока

Требуется:

- определить год начала влияния хозяйственной деятельности на речной сток;
- оценить статистическую значимость выявленной неоднородности ряда наблюдений.

Дано:

- общая характеристика водосбора и хозяйственных мероприятий, проводящихся в русловой сети и на водосборе, время активизации хозяйственной деятельности;
- материалы наблюдений за годовым Y и весенним стоком воды $Y_{\text{вес}}$, атмосферными осадками P (годовыми $P_{\text{год}}$, за период весеннего половодья $P_{\text{вес}}$), максимальными снегозапасами S.

Порядок выполнения

1. Вычислить ординаты интегральных кривых ежегодных значений стока (годового, сезонного) – Y, осадков P (или сумм $P_{\text{вес}}+S$):

$$s_{Y,m} = \sum_{t=1}^{m} Y_t \qquad (23.1)$$

$$s_{P,m} = \sum_{t=1}^{m} P_t \,, \qquad (23.2)$$

где t=1,2,...,m,....,n.

2. Построить график связи $s_{Y,m} = f\left(s_{P,m}\right)$, пометив каждую точку соответствующим календарным годом. Определить начало нарушения естественного режима по точке перелома в ходе кривой связи.

3. Вычислить коэффициенты индикации

$$\alpha_t^{/} = \frac{P_t}{Y_t} \,, \qquad (23.3)$$

$$\alpha_t^{//} = \frac{P_{\text{вес},t} + S_t}{Y_{\text{вес},t}} \qquad (23.4)$$

и построить их хронологические графики за период наблюдений (рис. 26).

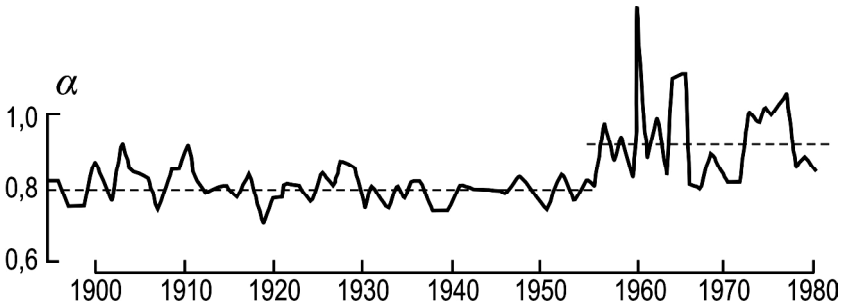


Рис. 26. *Пример временного хода коэффициента индикации (р. Днепр – г. Каховка)*

4. Проанализировать совместно эти графики. По точке резкого перелома в ходе кривых $\alpha(t)$ установить год нарушения естественного режима.

5. Подобрать реку-аналог, сток которой обнаруживает тесную корреляционную связь со стоком исследуемого водосбора за период с ненарушенным режимом (r>0,8).

6. Установить год нарушения естественного стока методом двойной интегральной кривой (см. пп. 1 и 2; вместо осадков использовать сток реки-аналога) (рис. 27).

7. Сравнить результаты пп. 2, 4, 6.

8. Оценить статистическую значимость выявленной неоднородности имеющегося ряда наблюдений по критерию Смирнова–Колмогорова, вычислив статистику:

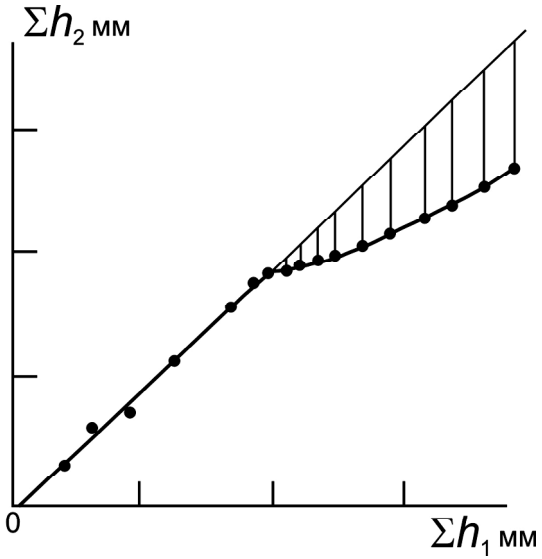


Рис. 27. *Пример связи интегральных сумм стока рек Цна (Старый Спас) и Поля (с. Кривандино)*

$$\lambda = \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \max\left|P_{n_1}(Y) - P_{n_2}(Y)\right|, \qquad (23.5)$$

где n_1 – число лет условно-естественного периода, n_2 – число лет с нарушенным стоком, $P_{n_1}(Y)$ и $P_{n_2}(Y)$ – эмпирические кривые обеспеченности стока за эти периоды.

Установить вероятность превышения полученной меры расхождения между эмпирическими кривыми обеспеченности за естественный и нарушенный периоды в случае справедливости гипотезы однородности: $P_{n_1}(Y) = P_{n_2}(Y) = P(Y)$, пользуясь табл. 31.

Таблица 31

Значения функции $P(\lambda)$ (табл. 39 в [16])

λ	2,23	1,96	1,63	1,36	1,22	1,14	1,07	1,02
$P(\lambda)$,%	0,01	0,1	1,0	5,0	10	15	20	25

9. Оценить однородность рядов за естественный и нарушенный периоды по критериям Фишера (F) и Стьюдента (t) при уровне значимости α=5%. Для этого вычислить дисперсии ряда отдельно за период естественного стока и за период нарушенного режима стока:

$$S^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(Q_i - Q_0)^2, \qquad (23.6)$$

обозначив бóльшую из них S_1^2, а меньшую – S_2^2. Вычислить статистику:

$$F^* = S_1^2 \Big/ S_2^2 . \qquad (23.7)$$

По Приложению В.4 определить 5%-ный квантиль функции $F(f_1, f_2)$. Для этого вычислить параметры $n_{F_1} = n_1 K_F$ и $n_2 K_F$, где n_1 и n_2 – соответственно число членов первого ряда ($S_1^2 > S_2^2$) и второго ряда; K_F – поправка, учитывающая влияние асимметричности (C_s) и внутрирядной скоррелированности (r_1) исходной совокупности данных на F-распределение ([8], раздел 6.4). Функция $K_F(C_s, r_1)$ представлена в табл. 32. Величины C_s и r_1 определяются по районным обобщениям. Для годового стока можно принять $C_s = 2C_v$; r_1 на равнинной части ЕТР колеблется в пределах 0,21–0,24 (согласно Приложению 2, табл. 5а в [11]). Число степеней свободы для входа в Приложении В.4 $F(f_1, f_2)$: $f_1 = n_{F_1} - 1$ и $f_2 = n_{F_2} - 1$.

Таблица 32

Поправки K_F для определения числа степеней свободы, учитывающие влияние асимметрии и внутрирядной связности на F-распределение

r_1	Коэффициент асимметрии C_s						
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
0,0	1,00	0,82	0,62	0,45	0,30	0,24	0,17
0,1	0,98	0,80	0,61	0,44	0,29	0,24	0,17
0,2	0,92	0,75	0,57	0,41	0,28	0,22	0,16
0,3	0,84	0,69	0,52	0,38	0,25	0,20	0,14
0,4	0,72	0,59	0,45	0,32	0,22	0,17	0,12

Если гипотеза однородности дисперсий не отвергается критерием Фишера, то следует проверить однородность выборочных средних, вычислив статистику t^* и число степеней свободы распределения Стьюдента $\upsilon = n_1 + n_2 - 2$:

$$t^* = \frac{\overline{Q}_1 - \overline{Q}_2}{\sqrt{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} . \qquad (23.8)$$

По табл. 33 определить $t_\upsilon (\alpha = 5\%)$. Ввести поправку к t_υ, учитывающую r_1 в виде коэффициента C_t по табл. 34 и вычислить статистику $t_\upsilon^* = t_\upsilon \cdot C_t$.

Таблица 33

Значения функции t_υ при α=5% (табл. 8 в [16])

υ	10	12	15	20	25	30	40	60	120
t	1,81	1,78	1,75	1,72	1,71	1,70	1,68	1,66	1,64

Таблица 34

Коэффициенты C_t в зависимости от r_1 (Приложение 6, табл. Б.16 в [8])

r_1	0,00	0,05	0,10	0,05	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
C_t	1,00	1,03	1,07	1,12	1,18	1,24	1,33	1,41	1,51

Гипотеза однородности выборочных средних отвергается, если $t^* > t_\upsilon^*$. В противном случае считается, что данные наблюдений не противоречат этой гипотезе.

В практике гидрологических расчетов могут применяться и другие уровни значимости – от 1 до 20%.

Задание 24. Оценка изменений стока под влиянием хозяйственной деятельности

Требуется:

- восстановить естественный сток за период с нарушенным режимом; оценить изменение стока.

Дано:

- см. задание 23.

Порядок выполнения

1. Подобрать реку-аналог (можно воспользоваться результатами исследований по выполнению п. 5 задания 23), учитывая следующие условия:
   а) наличие совместных наблюдений за стоком за многолетний период с существенно различным уровнем хозяйственного освоения рассматриваемого водосбора;
   б) географическую близость расположения водосборов и сходство физико-географических условий формирования стока;
   в) сток рек-аналогов должен быть естественным за весь период наблюдений.

2. Вычислить параметры уравнения регрессии вида $Q=f(Q_{ан})$, где Q – годовой (сезонный) сток реки, $Q_{ан}$ – годовой (сезонный) сток реки-аналога.

В случае невысоких коэффициентов корреляции (r<0,8), согласно [7], следует попытаться построить уравнение множественной регрессии $Q = f(Q_{ан_1}, Q_{ан_2}, Q_{ан_3}, \ldots\ldots Q_{ан_m})$ при сводном коэффициенте корреляции $R \geq 0{,}8$ и при выполнении требований: $R/\sigma_R \geq 2$, $a_j/\sigma_{a_j} \geq 2$, где σ_R – ошибка оценки коэффициента корреляции, σ_{a_j} – ошибки коэффициентов регрессии.

3. По уравнению регрессии восстановить сток за период с нарушенным режимом $Q_{восст}$.

4. Оценить влияние комплекса факторов хозяйственной деятельности на сток:

$$\Delta Q_{хоз} = Q_{восст} - Q_н , \qquad (24.1)$$

где $Q_н$ – наблюденный сток за период сравнения.

5. Оценить надежность оценки $\Delta Q_{хоз}$, вычислив:

$$\sigma_{\Delta Q_{хоз}} = \sqrt{\frac{\sigma^2_{Q_{восст}} + \sigma^2_{Q_н}}{n}} , \qquad (24.2)$$

где $\sigma^2_{Q_{восст}}$ – средняя квадратическая погрешность восстановления стока (ошибка уравнения регрессии, $\sigma_{усл} = \sigma\sqrt{1 - R^2}$); $\sigma^2_{Q_н}$ – средняя квадратическая погрешность определения (измерения) наблюденного расхода, в первом приближении может быть оценена по табл. 35.

Таблица 35

Средняя погрешность наблюденных значений расходов воды, % (по табл. 2 в [10])

Методы и условия измерения и подсчеты стока	Период осреднения стока		
	декада	месяц	год
Вычисление стока по кривой $Q=f(H)$			
беспойменное русло, кривая $Q=f(H)$ хорошо обоснована ИРВ	1–2	1–2	1–2
беспойменное русло, кривая $Q=f(H)$ недостаточно обоснована ИРВ	5–10	3–6	2–4
пойменное русло, кривая $Q=f(H)$ хорошо обоснована ИРВ	2–4	2–4	2–4
пойменное русло, кривая $Q=f(H)$ недостаточно обоснована ИРВ	10–25	6–15	5–12
Вычисление стока воды по интерполяции между ИРВ (в период ледовых явлений, зарастания)			
при достаточном количестве ИРВ	2–3	2–3	–
при недостаточном количестве ИРВ	5–10	3–6	–
Наименьший расход за год			
летняя межень	3–7	–	–
зимняя межень	5–10	–	–

6. Исследовать возможности использования имеющихся метеорологических данных для восстановления естественного стока по уравнениям регрессии (от $P_{год}$, $P_{вес}$, $P_{вес}+S$ и др.) в последовательности, описанной в пп. 2–5.

7. Сравнить результаты оценки $\Delta Q_{хоз}$, полученной в пп. 4,6.

Задание 25. Прогноз изменений стока под влиянием будущего водохранилища

Требуется:

- оценить изменение стока реки на перспективу при сооружении водохранилища.

Дано:

- параметры проектируемого водохранилища (полный объем $V_{НПУ}$, полезный объем $V_{п}$, мертвый объем $V_{УМО}$, площадь зеркала при нормальном подпорном уровне $F_{НПУ}$);

- проектный режим регулирования стока (сезонное, многолетнее, суточное, недельное регулирование);
- характеристики зоны аэрации ложа водохранилища и прилегающих территорий (средняя мощность зоны аэрации ложа $H_{л}$; средняя глубина грунтовых вод на территории, непосредственно прилегающей к будущему водохранилищу $H_{б}$; коэффициент водоотдачи почвогрунтов ложа водохранилища $\mu_{Л}$; то же для прилегающих территорий $\mu_{б}$);
- средние многолетние метеорологические данные для определения испарения с водной поверхности водохранилища $E_{в}$ и поверхности суши затапливаемой территории $E_{с}$;
- средний многолетний расход реки в проектном створе.

Порядок выполнения

1. Оценить потери стока на заполнение чаши водохранилища и увеличение запасов подземных вод

$$\Delta S = S_{акк} + S_{л} + S_{б}, \qquad (25.1)$$

где $S_{акк}$ – объемы воды, расходуемые на заполнение водохранилища; $S_{л}$ – затраты воды на насыщение зоны аэрации ложа водохранилища; $S_{б}$ – объемы воды, поступающие в берега, км^3

Для этого:

а) определить $S_{акк} = V_{УМО}$,

б) вычислить $S_{л} = H_{л}\mu_{л}F_{в}$,

в) вычислить $S_{б}$ по приближенной эмпирической формуле

$$S_{б} = 0,5k_{н}S_{общ}\mu_{б}H_{б}^{0,6}, \qquad (25.2)$$

где $S_{общ} = V_{УМО}$, км^3; коэффициент наполнения $k_{н}$=1 (суточное и недельное регулирования), $k_{н}$=0,7–0,9 (сезонное) и $k_{н}$=0,5–0,7 (многолетнее регулирование), $H_{б}$ в м.

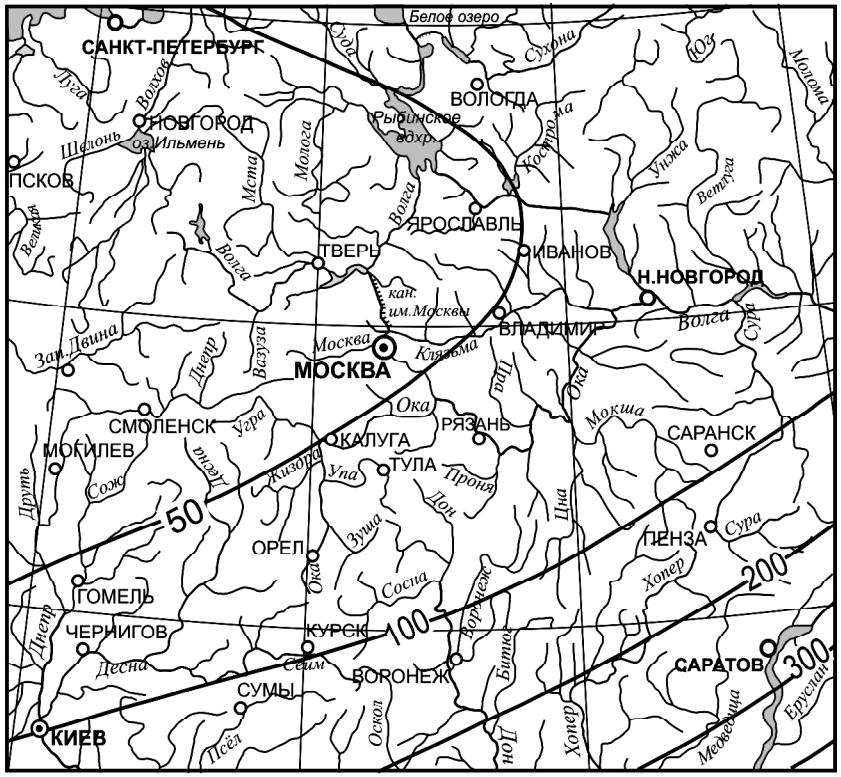
г) выразить изъятие водных ресурсов ΔS в долях среднего многолетнего годового объема стока.

2. Оценить изменения стока на многолетнюю перспективу – после стабилизации режима регулирования стока и режима грунтовых вод.

Для этого:

а) определить слой дополнительных потерь $E_{з}^{/}$ на испарение с зоны затопления: $E_{з}^{/} = E_{в}^{/} - E_{с}^{/}$ [12, 15]. В качестве первого приближения может быть использована карта рис. 28.

б) вычислить объем потерь с зоны затопления $E_з = E'_з \cdot \overline{F}_з$, где $\overline{F}_з$ – средняя площадь затопления, рассчитываемая приближенно в зависимости $F_{НПУ}$ с введением коэффициентов $k_п$ и $k_з$



Масштаб 1:10 000 000

***Рис.* 28.** *Среднее многолетнее дополнительное испарение, мм/год (*[7], *Приложение* 7.1*)*

$$\overline{F}_з = k_п k_з F_{НПУ}, \qquad (25.3)$$

где $k_п = \overline{F}_в \big/ F_{НПУ}$, $\overline{F}_в$ – площадь зеркала при среднем наполнении водохранилища, $k_з = \left(\overline{F}_в - \overline{F}_р\right) \big/ \overline{F}_в$, $\overline{F}_р$ – площадь водного зеркала русла реки в естественных условиях.

Значения $k_п$ зависят от характера регулирования: для равнинных водохранилищ суточного и недельного регулирования $k_п$=1, сезонного – 0,8–0,9. Значения коэффициента затопления $k_з$ составляют 0,7–0,8 для долинно-русловых, 0,6–0,7 – для русловых водохранилищ;

в) определить потери на испарение с зоны затопления прилегающих к водохранилищу земель

$$E_п = \left(E'_п - E'_с\right) F_п, \qquad (25.4)$$

где $E'_п$ – слой испарения с зоны подтопления; $E'_с$ – слой испарения с площади суши до подтопления. Величину $E'_п$ для районов недостаточного увлажнения можно принять равной 2/3 испарения с водной поверхности, а для районов достаточного и избыточного увлажнения – равной испарению с водной поверхности. Площадь подтопления $F_п$ принять 5–7% от площади водной поверхности $F_{НПУ}$.

В качестве первого приближения для равнинных водохранилищ потери стока с подтопленных территорий можно принять равными 5–10% от величины $E_з$;

г) вычислить суммарные потери стока $\Delta E = E_з + E_п$ и выразить их в размерности среднего многолетнего расхода (м^3/с и %).

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 23 листа.
2. *Евстигнеев В. М.* Речной сток и гидрологические расчеты. Учебник. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 304 с.
3. *Кокорев А. В., Рождественский А. В., Лобанова А. Г.* Программные средства автоматизации инженерных гидрологических расчетов. HydroStatCalc. Руководство пользователя. СПб., 2010. 45 с.
4. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений. ГГИ Росгидромета. СПб., 2007. 66 с.
5. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. ГГИ Росгидромета. СПб.: Нестор-История, 2009. 193 с.
6. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. ГГИ Росгидромета. Нижний Новгород, 2007. 133 с.
7. Методические указания по оценке влияния хозяйственной деятельности на сток средних и больших рек и восстановлению его характеристик. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 78 с.
8. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. ГГИ Росгидромета. СПб.: Нестор-История, 2010. 162 с.
9. Методические рекомендации по учету влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек при гидрологических расчетах для водохозяйственного проектирования. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 167 с.
10. Наблюдения на гидрометеорологической сети СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 90 с.
11. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 448 с.
12. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 95 с.
13. *Рождественский А. В.* Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 260 с.
14. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33–101–2003. Издание официальное. М.: Госстрой России, 2004. 72 с.
15. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 83 с.
16. *Янко Я.* Математико-статистические таблицы. М.: Госстатиздат, 1961. 200 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Московский Государственный Университет
имени М.В. Ломоносова

ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра гидрологии суши

Практические работы по курсу
«Речной сток и гидрологические расчеты»

Задание №2

«Оценка репрезентативности периода наблюдений»

Выполнил: Иванов И.И.

Проверил:

Москва-2014

Образец титульного листа к практической работе по курсу «Речной сток и гидрологические расчеты»

Приложение Б.1

Ординаты кривых трехпараметрического гамма-распределения С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля

P,%	C_v										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	$C_s=C_v$										
0,001	1	1,46	1,94	2,46	2,97	3,47	3,94	4,36	4,73	5,06	5,35
0,01	1	1,38	1,81	2,26	2,70	3,15	3,57	3,95	4,31	4,64	4,92
0,05	1	1,34	1,71	2,10	2,49	2,89	3,27	3,64	3,98	4,29	4,58
0,1	1	1,32	1,67	2,03	2,40	2,77	3,13	3,48	3,82	4,13	4,42
0,5	1	1,27	1,55	1,84	2,15	2,46	2,77	3,08	3,38	3,69	3,99
1,0	1	1,24	1,49	1,76	2,03	2,30	2,59	2,88	3,16	3,46	3,75
5	1	1,17	1,34	1,52	1,70	1,90	2,10	2,30	2,53	2,76	3,02
10	1	1,13	1,26	1,40	1,54	1,68	1,83	1,99	2,16	2,35	2,55
20	1	1,08	1,17	1,25	1,34	1,42	1,51	1,60	1,70	1,80	1,90
25	1	1,07	1,13	1,20	1,26	1,33	1,39	1,46	1,52	1,59	1,64
30	1	1,05	1,10	1,15	1,20	1,24	1,29	1,33	1,37	1,39	1,40
40	1	1,02	1,04	1,06	1,08	1,09	1,10	1,10	1,080	1,050	0,995
50	1	0,998	0,993	0,985	0,972	0,954	0,928	0,891	0,836	0,760	0,665
60	1	0,973	0,943	0,909	0,870	0,824	0,768	0,698	0,613	0,512	0,406
70	1	0,946	0,890	0,830	0,764	0,692	0,609	0,515	0,413	0,309	0,215
75	1	0,932	0,861	0,787	0,708	0,622	0,528	0,426	0,321	0,224	0,144
80	1	0,915	0,829	0,740	0,648	0,549	0,445	0,338	0,237	0,151	0,088
90	1	0,873	0,748	0,623	0,500	0,378	0,264	0,165	0,092	0,045	0,019
95	1	0,838	0,683	0,533	0,392	0,263	0,157	0,081	0,036	0,013	0,004
97	1	0,816	0,642	0,478	0,329	0,202	0,107	0,048	0,018	0,005	0,001
99	1	0,775	0,568	0,383	0,229	0,115	0,047	0,015	0,004	0,001	$0,1\cdot10^{-3}$
99,5	1	0,752	0,528	0,335	0,182	0,081	0,028	0,008	0,002	$0,2\cdot10^{-3}$	$0,3\cdot10^{-3}$
99,7	1	0,737	0,502	0,303	0,154	0,062	0,019	0,004	0,001	$0,9\cdot10^{-3}$	$0,1\cdot10^{-3}$
99,9	1	0,707	0,451	0,247	0,108	0,036	0,008	0,001	$2\cdot10^{-3}$	$0,1\cdot10^{-3}$	$0,2\cdot10^{-3}$

P,%	C_v									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
	$C_s=C_v$									
0,001	5,58	5,76	5,9	6,02	6,12	6,2	6,26	6,32	6,36	6,4
0,01	5,16	5,34	5,46	5,58	5,68	5,76	5,82	5,88	5,92	5,96
0,05	4,83	5,06	5,20	5,32	5,42	5,49	5,56	5,62	5,67	5,72
0,1	4,69	4,92	5,06	5,18	5,29	5,37	5,44	5,49	5,54	5,58
0,5	4,29	4,58	4,75	4,91	5,02	5,11	5,18	5,24	5,28	5,32
1,0	4,06	4,36	4,55	4,72	4,84	4,94	5,0	5,07	5,12	5,16
5	3,31	3,63	3,84	4,02	4,16	4,28	4,4	4,50	4,6	4,69
10	2,78	3,03	3,26	3,46	3,64	2,56	3,94	4,05	4,15	4,25
20	2,00	2,10	2,2	2,32	2,44	1,66	2,67	2,80	2,92	3,03
25	1,68	1,69	1,70	1,70	1,68	0,96	1,61	1,56	1,51	1,46
30	1,39	1,34	1,26	1,17	1,07	0,38	0,84	0,72	0,60	0,45
40	0,916	0,808	0,72	0,60	0,50	0,15	0,28	0,20	0,11	0,04
50	0,559	0,446	0,34	0,26	0,20	0,075	0,105	0,07	0,04	0,01
60	0,306	0,216	0,19	0,13	0,10	0,025	0,055	0,035	0,015	0
70	0,141	0,085	0,06	0,045	0,035	0,005	0,015	0,01	0	0
75	0,086	0,046	0,025	0,02	0,01	0	0	0	0	0
80	0,047	0,023	0,015	0,005	0	0	0	0	0	0
90	0,007	0,002	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0,001	$3\cdot10^{-4}$	0	0	0	0	0	0	0	0
97	0,0003	$6\cdot10^{-5}$	0	0	0	0	0	0	0	0
99	$2\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-6}$	0	0	0	0	0	0	0	0
99,5	$5\cdot10^{-6}$	$6\cdot10^{-7}$	0	0	0	0	0	0	0	0
99,7	$2\cdot10^{-6}$	$2\cdot10^{-7}$	0	0	0	0	0	0	0	0
99,9	$1\cdot10^{-7}$	$7\cdot10^{-9}$	0	0	0	0	0	0	0	0

Продолжение Приложения Б.1

P,%	C_v														
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	C_s=1,5C_v														
0,01	1,47	2,01	2,63	3,30	4,03	4,81	5,64	6,50	7,41	8,39	9,41	10,4	11,5	12,7	13,9
0,01	1,40	1,86	2,38	2,94	3,55	4,19	4,88	5,61	6,38	7,19	8,03	8,92	9,83	10,8	11,8
0,05	1,32	1,75	2,20	2,68	3,18	3,73	4,31	4,93	5,58	6,26	6,95	7,67	8,43	9,22	10,1
0,1	1,33	1,70	2,11	2,54	3,02	3,52	4,06	4,62	5,22	5,84	6,50	7,18	7,88	8,61	9,38
0,5	1,27	1,57	1,90	2,24	2,61	3,00	3,41	3,85	4,31	4,80	5,32	5,87	6,44	7,04	7,66
1,0	1,24	1,51	1,79	2,09	2,42	2,76	3,11	3,49	3,89	4,30	4,74	5,21	5,70	6,24	6,78
5	1,17	1,35	1,53	1,72	1,92	2,13	2,34	2,57	2,80	3,03	3,28	3,55	3,83	4,12	4,44
10	1,13	1,26	1,40	1,54	1,68	1,82	1,97	2,11	2,26	2,41	2,56	2,71	2,86	3,00	3,13
20	1,08	1,16	1,25	1,32	1,40	1,47	1,54	1,61	1,67	1,72	1,76	1,80	1,82	1,83	1,83
25	1,07	1,13	1,19	1,25	1,30	1,35	1,39	1,43	1,46	1,48	1,49	1,49	1,48	1,46	1,43
30	1,05	1,10	1,14	1,18	1,21	1,24	1,27	1,28	1,28	1,28	1,26	1,24	1,20	1,16	1,10
40	1,02	1,04	1,06	1,06	1,06	1,06	1,05	1,03	0,994	0,952	0,901	0,840	0,766	0,692	0,622
50	0,998	0,990	0,977	0,958	0,934	0,902	0,862	0,811	0,756	0,690	0,618	0,541	0,463	0,388	0,320
60	0,972	0,940	0,903	0,860	0,812	0,757	0,695	0,627	0,553	0,475	0,398	0,324	0,253	0,193	0,142
70	0,946	0,888	0,826	0,760	0,690	0,616	0,538	0,457	0,376	0,298	0,228	0,168	0,118	0,079	0,051
75	0,931	0,860	0,785	0,708	0,636	0,545	0,460	0,377	0,297	0,223	0,161	0,111	0,072	0,045	0,027
80	0,915	0,829	0,741	0,652	0,562	0,472	0,384	0,299	0,223	0,156	0,150	0,067	0,039	0,22	0,012
90	0,874	0,751	0,632	0,518	0,409	0,310	0,222	0,148	0,092	0,053	0,028	0,014	0,006	0,003	0,001
95	0,840	0,689	0,548	0,419	0,305	0,207	0,130	0,074	0,038	0,018	0,008	0,003	0,001	$0,3\cdot10^{-4}$	$0,2\cdot10^{-3}$
97	0,819	0,651	0,498	0,363	0,247	0,155	0,088	0,045	0,020	0,008	0,003	0,001	$0,3\cdot10^{-3}$	$0,8\cdot10^{-3}$	$0,3\cdot10^{-4}$
99	0,780	0,581	0,410	0,268	0,160	0,084	0,038	0,015	0,005	0,001	$0,4\cdot10^{-3}$	$0,1\cdot10^{-3}$	$0,4\cdot10^{-4}$	$0,8\cdot10^{-5}$	$0,2\cdot10^{-5}$
99,5	0,758	0,545	0,366	0,223	0,122	0,057	0,023	0,008	0,002	$0,5\cdot10^{-3}$	$0,1\cdot10^{-3}$	$0,1\cdot10^{-4}$	$0,9\cdot10^{-5}$	$0,6\cdot10^{-6}$	$0,2\cdot10^{-6}$
99,7	0,744	0,520	0,337	0,205	0,108	0,043	0,016	0,005	0,001	$0,2\cdot10^{-3}$	$0,5\cdot10^{-4}$	$0,4\cdot10^{-4}$	$0,1\cdot10^{-5}$	$0,4\cdot10^{-6}$	$0,8\cdot10^{-7}$
99,9	0,714	0,474	0,284	0,152	0,066	0,024	0,007	0,001	$0,3\cdot10^{-3}$	$0,4\cdot10^{-4}$	$0,6\cdot10^{-5}$	$0,1\cdot10^{-5}$	$0,2\cdot10^{-6}$	$0,3\cdot10^{-7}$	$0,2\cdot10^{-8}$

Продолжение Приложения Б.1

P,%	C_v										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	C_s=2C_v										
0,001	1	1,49	2,09	2,82	3,68	4,67	5,78	7,03	8,40	9,89	11,5
0,01	1	1,42	1,92	2,52	3,20	3,98	4,85	5,81	6,85	7,98	9,21
0,05	1	1,36	1,79	2,29	2,85	3,48	4,18	4,95	5,77	6,66	7,60
0,10	1	1,34	1,73	2,19	2,70	3,27	3,87	4,56	5,30	6,08	6,91
0,5	1	1,28	1,59	1,94	2,32	2,74	3,20	3,68	4,19	4,74	5,30
1,0	1	1,25	1,52	1,82	2,16	2,51	2,89	3,29	3,71	4,15	4,60
5,0	1	1,17	1,35	1,54	1,74	1,94	2,15	2,36	2,57	2,78	3,00
10	1	1,13	1,26	1,40	1,54	1,67	1,80	1,94	2,06	2,19	2,30
20	1	1,08	1,16	1,24	1,31	1,38	1,44	1,50	1,54	1,58	1,61
25	1	1,06	1,13	1,18	1,23	1,28	1,31	1,34	1,37	1,38	1,39
30	1	1,05	1,09	1,13	1,16	1,19	1,21	1,22	1,22	1,22	1,20
40	1	1,02	1,04	1,05	1,05	1,04	1,03	1,01	0,984	0,955	0,916
50	1	0,997	0,986	0,970	0,948	0,918	0,886	0,846	0,800	0,748	0,693
60	1	0,972	0,938	0,898	0,852	0,803	0,748	0,692	0,632	0,568	0,511
70	1	0,945	0,886	0,823	0,760	0,691	0,622	0,552	0,488	0,424	0,357
75	1	0,931	0,858	0,784	0,708	0,634	0,556	0,489	0,416	0,352	0,288
80	1	0,915	0,830	0,745	0,656	0,574	0,496	0,419	0,352	0,280	0,223
90	1	0,873	0,754	0,640	0,532	0,436	0,352	0,272	0,208	0,154	0,150
95	1	0,842	0,696	0,565	0,448	0,342	0,256	0,181	0,120	0,082	0,051
97	1	0,821	0,660	0,517	0,392	0,288	0,202	0,139	0,088	0,046	0,030
99	1	0,782	0,594	0,436	0,304	0,206	0,130	0,076	0,040	0,019	0,010
99,5	1	0,761	0,560	0,394	0,269	0,166	0,099	0,054	0,027	0,012	0,005
99,7	1	0,748	0,537	0,374	0,240	0,144	0,082	0,042	0,019	0,008	0,003
99,9	1	0,719	0,492	0,319	0,192	0,107	0,052	0,027	0,008	0,004	0,001

P,%	C_v									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
	C_s=2C_v									
0,001	13,2	15,1	17,2	19,3	21,6	23,9	26,2	28,6	31,3	34,4
0,01	10,5	11,8	13,2	14,7	16,4	18,2	20,2	22,2	24,4	26,6
0,05	8,61	9,65	10,8	11,9	13,1	14,2	15,5	16,7	18,0	19,4
0,10	7,75	8,65	9,60	10,6	11,6	12,5	13,5	14,6	15,8	17,0
0,5	5,90	6,50	7,13	7,80	8,42	9,0	9,5	10,1	10,8	11,4
1,0	5,05	5,53	6,02	6,55	7,08	7,5	8,0	8,6	9,2	9,8
5,0	3,22	3,40	3,60	3,80	3,96	4,0	4,3	4,5	4,7	5,0
10	2,40	2,50	2,57	2,64	2,70	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6
20	1,62	1,63	1,62	1,61	1,59	1,6	1,6	1,56	1,5	2,5
25	1,39	1,35	1,33	1,31	1,28	1,26	1,24	1,22	1,2	1,18
30	1,18	1,14	1,11	1,08	1,04	1,015	0,98	0,95	0,92	0,89
40	0,870	0,830	0,770	0,725	0,670	0,625	0,58	0,53	0,48	0,44
50	0,640	0,580	0,520	0,460	0,405	0,355	0,310	0,265	0,23	0,20
60	0,450	0,390	0,334	0,283	0,234	0,190	0,160	0,130	0,105	0,085
70	0,300	0,250	0,203	0,155	0,120	0,090	0,070	0,060	0,05	0,045
75	0,241	0,193	0,146	0,106	0,077	0,060	0,050	0,040	0,03	0,025
80	0,175	0,130	0,094	0,065	0,046	0,035	0,027	0,020	0,015	0,01
90	0,074	0,049	0,030	0,016	0,009	0,005	0,004	0,003	0,002	0,001
95	0,030	0,016	0,009	0,004	0,002	0,001	0,0002	$8\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-5}$	$2\cdot10^{-5}$
97	0,016	0,008	0,004	0,002	0,001	$2\cdot10^{-4}$	$8\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-5}$	$2\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-6}$
99	0,005	0,002	0,001	$2\cdot10^{-4}$	$8\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-5}$	$2\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-6}$
99,5	0,002	0,001	$2\cdot10^{-4}$	$5\cdot10^{-5}$	$2\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-6}$	0	0	0
99,7	0,001	$3\cdot10^{-4}$	$8\cdot10^{-5}$	$2\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-6}$	0	0	0	0
99,9	$2\cdot10^{-4}$	$4\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$	$5\cdot10^{-6}$	$1\cdot10^{-6}$	0	0	0	0	0

P,%	C_v									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	C_s=2,5C_v									
0,001	1,52	2,18	3,05	4,13	5,41	6,90	8,61	10,5	12,6	14,8
0,01	1,44	1,98	2,67	3,49	4,45	5,54	6,76	8,10	9,55	11,1
0,05	1,38	1,83	2,39	3,04	3,79	4,62	5,54	6,53	7,59	8,72
0,1	1,35	1,77	2,27	2,85	3,51	4,24	5,04	5,90	6,80	7,76
0,5	1,28	1,61	1,99	2,41	2,87	3,36	3,90	4,46	5,03	5,63
1	1,25	1,54	1,86	2,21	2,59	3,00	3,42	3,87	4,32	4,78
5	1,17	1,35	1,55	1,74	1,95	2,15	2,35	2,55	2,75	2,94
10	1,13	1,26	1,40	1,53	1,66	1,78	1,90	2,01	2,12	2,22
20	1,08	1,16	1,23	1,30	1,36	1,14	1,45	1,49	1,52	1,54
25	1,07	1,12	1,18	1,22	1,26	1,28	1,31	1,32	1,33	1,33
30	1,05	1,09	1,13	1,15	1,17	1,18	1,18	1,18	1,17	1,16
40	1,02	1,04	1,04	1,04	1,03	1,01	0,989	0,962	0,930	0,895
50	0,997	0,984	0,964	0,938	0,906	0,870	0,830	0,787	0,742	0,695
60	0,972	0,935	0,893	0,847	0,797	0,745	0,692	0,639	0,586	0,533
70	0,945	0,885	0,822	0,758	0,693	0,629	0,567	0,506	0,449	0,395
75	0,931	0,858	0,785	0,712	0,640	0,571	0,505	0,443	0,385	0,332
80	0,915	0,830	0,745	0,663	0,585	0,512	0,444	0,381	0,324	0,272
90	0,875	0,757	0,648	0,549	0,459	0,381	0,310	0,250	0,198	0,155
95	0,843	0,702	0,576	0,467	0,373	0,293	0,227	0,172	0,128	0,093
97	0,823	0,667	0,533	0,420	0,325	0,247	0,184	0,134	0,095	0,065
99	0,784	0,606	0,459	0,341	0,248	0,175	0,120	0,080	0,052	0,032
99,5	0,765	0,574	0,422	0,303	0,212	0,143	0,094	0,059	0,036	0,020
99,7	0,752	0,558	0,398	0,278	0,189	0,123	0,078	0,047	0,028	0,015
99,9	0,727	0,513	0,353	0,235	0,151	0,093	0,055	0,030	0,016	0,008

P,%	C_v									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
C_s=2,5C_v										
0,001	17,2	19,9	22,6	25,6	28,7	32,1	35,8	39,7	43,9	48,4
0,01	12,8	14,6	16,4	18,4	20,4	22,5	24,7	27,0	29,3	31,9
0,05	9,92	11,2	12,5	13,8	15,2	16,7	18,2	19,8	21,5	23,2
0,1	8,76	9,81	10,9	12,0	13,2	14,4	15,7	17,0	18,4	19,8
0,5	6,25	6,89	7,54	8,20	8,88	9,56	10,3	11,0	11,8	12,6
1	5,26	5,73	6,22	6,71	7,20	7,70	8,20	8,71	9,22	9,74
5	3,13	3,31	3,48	3,65	3,81	3,96	4,1	4,26	4,39	4,52
10	2,31	2,39	2,46	2,53	2,59	2,64	2,69	2,73	2,76	2,79
20	1,55	1,56	1,56	1,55	1,54	1,52	1,50	1,47	1,44	1,41
25	1,32	1,31	1,29	1,27	1,24	1,21	1,17	1,14	1,10	1,05
30	1,14	1,11	1,08	1,05	1,01	0,972	0,931	0,888	0,843	0,797
40	0,857	0,816	0,773	0,729	0,684	0,638	0,592	0,545	0,497	0,447
50	0,648	0,600	0,552	0,505	0,459	0,415	0,373	0,332	0,295	0,259
60	0,482	0,432	0,385	0,340	0,298	0,259	0,224	0,191	0,162	0,136
70	0,344	0,297	0,254	0,215	0,180	0,149	0,122	0,099	0,079	0,062
75	0,283	0,238	0,199	0,164	0,133	0,107	0,085	0,066	0,051	0,039
80	0,226	0,185	0,149	0,119	0,094	0,072	0,055	0,041	0,030	0,022
90	0,118	0,089	0,066	0,047	0,033	0,023	0,015	0,010	0,006	0,004
95	0,066	0,046	0,030	0,020	0,012	0,008	0,004	0,002	0,001	0,001
97	0,044	0,028	0,018	0,011	0,006	0,003	0,002	0,001	$4\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-4}$
99	0,019	0,011	0,006	0,003	0,001	0,001	$3\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-4}$	$4\cdot10^{-5}$	$2\cdot10^{-5}$
99,5	0,011	0,006	0,003	0,001	$0,5\cdot10^{-3}$	$0,2\cdot10^{-3}$	$0,8\cdot10^{-4}$	$0,3\cdot10^{-4}$	$0,1\cdot10^{-4}$	$0,3\cdot10^{-5}$
99,7	0,008	0,004	0,002	$0,7\cdot10^{-3}$	$0,3\cdot10^{-3}$	$0,1\cdot10^{-3}$	$0,4\cdot10^{-5}$	$0,1\cdot10^{-4}$	$0,3\cdot10^{-5}$	$0,1\cdot10^{-5}$
99,9	0,004	0,001	0,001	$0,2\cdot10^{-3}$	$0,6\cdot10^{-4}$	$0,2\cdot10^{-4}$	$0,6\cdot10^{-5}$	$0,1\cdot10^{-5}$	$0,4\cdot10^{-6}$	$0,9\cdot10^{-7}$

P,%	C_v										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
C_s=3C_v											
0,001	1	1,54	2,29	3,32	4,63	6,24	8,14	10,3	12,7	15,4	18,2
0,01	1	1,46	2,05	2,83	3,80	4,94	6,26	7,70	9,30	11,0	12,8
0,05	1	1,39	1,88	2,49	3,24	4,09	5,04	6,08	7,21	8,40	9,65
0,10	1	1,36	1,81	2,35	3,01	3,74	4,56	5,44	6,38	7,37	8,41
0,5	1	1,28	1,63	2,03	2,48	2,97	3,50	4,06	4,64	5,24	5,84
1,0	1	1,25	1,55	1,90	2,26	2,66	3,07	3,50	3,96	4,41	4,87
5,0	1	1,17	1,36	1,55	1,75	1,95	2,14	2,34	2,52	2,70	2,88
10	1	1,13	1,26	1,40	1,52	1,65	1,76	1,87	1,97	2,06	2,15
20	1	1,08	1,16	1,23	1,29	1,34	1,38	1,42	1,45	1,47	1,49
25	1	1,07	1,12	1,17	1,21	1,24	1,26	1,28	1,28	1,29	1,29
30	1	1,05	1,09	1,12	1,14	1,15	1,16	1,16	1,15	1,14	1,13
40	1	1,02	1,03	1,03	1,03	1,01	0,995	0,972	0,946	0,915	0,883
50	1	0,997	0,981	0,959	0,930	0,898	0,862	0,823	0,783	0,741	0,699
60	1	0,972	0,993	0,890	0,843	0,794	0,745	0,695	0,646	0,597	0,549
70	1	0,945	0,884	0,822	0,758	0,696	0,636	0,578	0,523	0,471	0,422
75	1	0,931	0,858	0,786	0,715	0,647	0,583	0,522	0,465	0,412	0,363
80	1	0,915	0,830	0,748	0,669	0,596	0,528	0,465	0,407	0,354	0,306
90	1	0,876	0,761	0,656	0,563	0,479	0,406	0,341	0,284	0,235	0,193
95	1	0,844	0,708	0,588	0,487	0,400	0,326	0,263	0,210	0,166	0,129
97	1	0,825	0,675	0,548	0,443	0,355	0,282	0,221	0,171	0,131	0,099
99	1	0,486	0,618	0,484	0,369	0,283	0,213	0,158	0,116	0,083	0,058
99,5	1	0,769	0,588	0,446	0,334	0,249	0,182	0,131	0,092	0,064	0,043
99,7	1	0,756	0,568	0,422	0,312	0,228	0,163	0,114	0,079	0,053	0,034
99,9	1	0,732	0,531	0,381	0,273	0,192	0,131	0,088	0,057	0,036	0,022

P,%	C_v									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
	C_s=3C_v									
0,001	21,3	24,5	27,9	31,5	35,3	39,3	43,4	47,8	52,5	57,4
0,01	14,8	16,8	19,0	21,2	23,5	25,9	28,4	31,0	33,7	36,5
0,05	11,0	12,4	13,8	15,2	16,8	18,3	19,9	21,5	23,3	25,1
0,10	9,49	10,6	11,8	13,0	14,2	15,4	16,7	18,0	19,4	20,8
0,5	6,47	7,10	7,75	8,41	9,07	9,74	10,4	11,1	11,8	12,4
1,0	5,33	5,79	6,26	6,74	7,21	7,68	8,14	8,61	9,07	9,53
5,0	3,05	3,22	3,37	3,52	3,66	3,80	3,92	4,04	4,15	4,26
10	2,23	2,30	2,36	2,42	2,47	2,51	2,55	2,58	2,60	2,62
20	1,50	1,50	1,50	1,49	1,48	1,46	1,45	1,42	1,40	1,37
25	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,18	1,15	1,12	1,08	1,05
30	1,11	1,08	1,06	1,03	0,997	0,964	0,929	0,892	0,855	0,818
40	0,848	0,812	0,775	0,736	0,697	0,659	0,620	0,581	0,544	0,507
50	0,656	0,614	0,572	0,531	0,491	0,452	0,415	0,379	0,345	0,313
60	0,503	0,459	0,417	0,377	0,339	0,304	0,271	0,240	0,212	0,186
70	0,375	0,333	0,293	0,257	0,224	0,194	0,166	0,142	0,121	0,102
75	0,318	0,277	0,239	0,206	0,176	0,149	0,125	0,105	0,087	0,071
80	0,263	0,224	0,190	0,160	0,133	0,110	0,090	0,073	0,059	0,047
90	0,156	0,126	0,100	0,078	0,061	0,047	0,035	0,026	0,019	0,014
95	0,100	0,076	0,057	0,042	0,030	0,022	0,015	0,010	0,007	0,004
97	0,073	0,054	0,038	0,027	0,018	0,012	0,008	0,005	0,003	0,002
99	0,040	0,027	0,017	0,011	0,007	0,004	0,002	0,001	0,001	$4\cdot10^{-4}$
99,5	0,028	0,018	0,011	0,006	0,004	0,002	0,001	$6\cdot10^{-4}$	$3\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-4}$
99,7	0,022	0,014	0,008	0,004	0,002	0,001	$6\cdot10^{-4}$	$3\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-4}$	$6\cdot10^{-5}$
99,9	0,013	0,007	0,004	0,002	0,001	$4\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-4}$	$8\cdot10^{-5}$	$3\cdot10^{-5}$	$1\cdot10^{-5}$

P,%	C_v									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	C_s=3,5C_v									
0,001	1,56	2,39	3,59	5,23	7,26	9,65	12,3	15,2	18,2	21,6
0,01	1,48	2,12	2,99	4,12	5,46	6,94	8,60	10,4	12,3	14,4
0,05	1,40	1,93	2,58	3,41	4,33	5,38	6,54	7,77	9,04	10,4
0,1	1,37	1,84	2,43	3,14	3,93	4,79	5,75	6,77	7,82	8,90
0,5	1,29	1,65	2,07	2,55	3,06	3,62	4,18	4,76	5,35	5,97
1	1,25	1,57	1,93	2,31	2,71	3,13	3,56	4,00	4,45	4,90
5	1,17	1,36	1,56	1,75	1,94	2,13	2,31	2,49	2,66	2,83
10	1,13	1,26	1,39	1,52	1,63	1,74	1,84	1,93	2,02	2,10
20	1,08	1,16	1,22	1,28	1,32	1,36	1,39	1,42	1,44	1,45
25	1,07	1,12	1,16	1,20	1,22	1,24	1,25	1,26	1,26	1,26
30	1,05	1,08	1,11	1,13	1,14	1,14	1,14	1,13	1,12	1,11
40	1,02	1,03	1,03	1,02	1,00	0,984	0,960	0,935	0,907	0,877
50	0,997	0,978	0,954	0,925	0,892	0,856	0,819	0,781	0,742	0,703
60	0,972	0,931	0,887	0,841	0,793	0,745	0,698	0,652	0,606	0,562
70	0,945	0,883	0,821	0,760	0,700	0,643	0,588	0,537	0,488	0,442
75	0,931	0,858	0,787	0,719	0,654	0,593	0,536	0,482	0,432	0,386
80	0,915	0,831	0,751	0,676	0,606	0,541	0,482	0,427	0,377	0,332
90	0,877	0,764	0,664	0,576	0,496	0,427	0,366	0,311	0,263	0,221
95	0,840	0,713	0,600	0,504	0,422	0,351	0,290	0,239	0,195	0,158
97	0,827	0,683	0,563	0,463	0,380	0,309	0,249	0,201	0,160	0,126
99	0,788	0,629	0,499	0,396	0,312	0,244	0,186	0,145	0,110	0,082
99,5	0,773	0,601	0,467	0,362	0,280	0,214	0,160	0,121	0,089	0,064
99,7	0,759	0,582	0,446	0,341	0,260	0,196	0,146	0,106	0,077	0,054
99,9	0,737	0,548	0,408	0,303	0,224	0,165	0,118	0,083	0,057	0,039

P,%	C_v									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
C_s=3,5C_v										
0,001	25,1	28,9	32,8	36,9	41,2	45,7	50,3	55,1	60,1	65,4
0,01	16,5	18,8	21,1	23,5	26,0	28,6	31,3	34,0	36,8	39,9
0,05	11,8	13,2	14,7	16,3	17,8	19,4	21,1	22,8	24,5	26,2
0,1	10,0	11,2	12,4	13,6	14,9	16,1	17,4	18,8	20,1	21,4
0,5	6,59	7,22	7,86	8,50	9,14	9,79	10,4	11,1	11,8	12,4
1	5,36	5,80	6,26	6,71	7,16	7,61	8,05	8,49	8,92	9,36
5	2,98	3,14	3,28	3,42	3,55	3,67	3,78	3,89	3,99	4,08
10	2,17	2,23	2,29	2,34	2,38	2,42	2,46	2,48	2,51	2,52
20	1,46	1,46	1,46	1,45	1,44	1,43	1,41	1,39	1,37	1,35
25	1,25	1,24	1,22	1,21	1,18	1,16	1,14	1,11	0,108	1,05
30	1,09	1,07	1,04	1,02	0,989	0,960	0,929	0,897	0,864	0,831
40	0,845	0,812	0,777	0,743	0,708	0,673	0,638	0,604	0,570	0,537
50	0,664	0,625	0,587	0,549	0,513	0,477	0,443	0,410	0,379	0,350
60	0,520	0,479	0,440	0,403	0,368	0,335	0,303	0,274	0,247	0,222
70	0,398	0,358	0,321	0,286	0,254	0,225	0,199	0,175	0,153	0,134
75	0,343	0,304	0,268	0,236	0,206	0,180	0,156	0,135	0,116	0,099
80	0,290	0,253	0,219	0,189	0,163	0,139	0,118	0,100	0,084	0,070
90	0,185	0,154	0,127	0,104	0,085	0,069	0,055	0,044	0,035	0,027
95	0,127	0,101	0,080	0,062	0,048	0,037	0,028	0,021	0,016	0,011
97	0,098	0,076	0,058	0,044	0,033	0,024	0,018	0,013	0,009	0,006
99	0,061	0,044	0,032	0,022	0,016	0,011	0,007	0,005	0,003	0,002
99,5	0,046	0,032	0,022	0,015	0,010	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001
99,7	0,038	0,026	0,017	0,011	0,007	0,004	0,003	0,002	0,001	$0{,}5\cdot10^{-3}$
99,9	0,026	0,016	0,010	0,006	0,004	0,002	0,001	0,001	$0{,}3\cdot10^{-3}$	$0{,}2\cdot10^{-3}$

P,%	C_v										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
C_s=4C_v											
0,001	0	1,59	2,49	3,90	5,80	8,5	10,9	13,9	17,2	20,8	24,6
0,01	0	1,50	2,18	3,17	4,43	5,91	7,58	9,41	11,4	13,4	15,5
0,05	0	1,41	1,97	2,72	3,61	4,63	5,76	6,96	8,22	9,56	11,0
0,10	0	1,38	1,88	2,53	3,29	4,15	5,07	6,05	7,08	8,15	9,26
0,5	0	1,29	1,67	2,12	2,61	3,13	3,68	4,26	4,85	5,43	6,03
1,0	0	1,25	1,58	1,94	2,31	2,75	3,17	3,59	4,03	4,47	4,91
5,0	0	1,17	1,36	1,56	1,75	1,94	2,12	2,29	2,46	2,62	2,78
10	0	1,13	1,26	1,39	1,51	1,62	1,72	1,81	1,90	1,98	2,05
20	0	1,08	1,15	1,22	1,27	1,31	1,34	1,37	1,40	1,41	1,42
25	0	1,07	1,12	1,16	1,19	1,21	1,23	1,24	1,24	1,24	1,24
30	0	1,05	1,08	1,11	1,12	1,13	1,13	1,13	1,12	1,11	1,10
40	0	1,02	1,02	1,02	1,01	0,996	0,976	0,954	0,929	0,902	0,873
50	0	0,997	0,976	0,950	0,920	0,888	0,853	0,818	0,781	0,744	0,707
60	0	0,972	0,929	0,885	0,839	0,793	0,747	0,702	0,658	0,614	0,572
70	0	0,945	0,883	0,821	0,761	0,704	0,649	0,597	0,548	0,501	0,457
75	0	0,931	0,858	0,788	0,722	0,660	0,601	0,546	0,495	0,448	0,403
80	0	0,915	0,832	0,754	0,681	0,614	0,553	0,496	0,443	0,395	0,351
90	0	0,877	0,767	0,671	0,586	0,511	0,444	0,384	0,331	0,284	0,243
95	0	0,846	0,719	0,611	0,519	0,440	0,372	0,312	0,261	0,217	0,180
97	0	0,829	0,690	0,576	0,481	0,400	0,332	0,274	0,224	0,182	0,147
99	0	0,790	0,638	0,516	0,417	0,336	0,269	0,214	0,168	0,132	0,102
99,5	0	0,776	0,612	0,485	0,386	0,035	0,239	0,186	0,144	0,110	0,083
99,7	0	0,762	0,594	0,466	0,366	0,286	0,221	0,170	0,129	0,097	0,072
99,9	0	0,742	0,561	0,430	0,331	0,252	0,189	0,141	0,104	0,075	0,054

Продолжение Приложения Б.1

P,%	C_v									
	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
	C_s=4C_v									
0,001	28,6	32,8	37,2	41,8	46,6	51,5	56,6	61,8	67,2	72,8
0,01	17,9	20,3	22,8	25,4	28,0	30,8	33,6	36,5	39,4	42,4
0,05	12,4	13,9	15,4	17,0	18,6	20,3	21,9	23,7	25,4	27,2
0,10	10,4	11,6	12,8	14,0	15,3	16,6	17,9	19,2	20,6	21,9
0,5	6,65	7,29	7,91	8,53	9,16	9,79	10,4	11,0	11,7	12,3
1,0	5,34	5,79	6,22	6,66	7,09	7,52	7,95	8,37	8,78	9,19
5,0	2,93	3,07	3,21	3,34	3,46	3,57	3,68	3,78	3,87	3,96
10	2,12	2,18	2,24	2,28	2,32	2,36	2,39	2,42	2,44	2,45
20	1,43	1,44	1,43	1,43	1,42	1,41	1,39	1,38	1,36	1,33
25	1,23	1,22	1,21	1,19	1,17	1,15	1,13	1,10	1,08	1,05
30	1,08	1,06	1,04	1,01	0,985	0,958	0,929	0,900	0,871	0,841
40	0,843	0,812	0,781	0,748	0,716	0,684	0,652	0,620	0,588	0,558
50	0,670	0,634	0,598	0,562	0,529	0,495	0,464	0,433	0,403	0,375
60	0,532	0,494	0,457	0,421	0,388	0,356	0,327	0,299	0,273	0,249
70	0,416	0,377	0,341	0,308	0,277	0,248	0,223	0,199	0,177	0,157
75	0,362	0,325	0,290	0,258	0,230	0,203	0,179	0,158	0,139	0,121
80	0,311	0,274	0,242	0,212	0,185	0,162	0,140	0,122	0,105	0,090
90	0,207	0,176	0,148	0,125	0,104	0,087	0,072	0,060	0,049	0,040
95	0,148	0,121	0,098	0,080	0,064	0,051	0,041	0,032	0,025	0,019
97	0,119	0,095	0,075	0,059	0,046	0,036	0,028	0,021	0,016	0,012
99	0,078	0,060	0,045	0,034	0,025	0,018	0,013	0,009	0,006	0,004
99,5	0,062	0,046	0,034	0,024	0,017	0,012	0,008	0,006	0,004	0,003
99,7	0,053	0,038	0,027	0,019	0,013	0,009	0,006	0,004	0,003	0,002
99,9	0,038	0,026	0,018	0,012	0,008	0,005	0,003	0,002	0,001	0,001

Приложение Б.2

Нормированные отклонения от среднего значения ординат распределения Пирсона III типа $\left(x_P - \bar{x}\right)/\sigma = \left(k_P - 1\right)/C_V = \Phi\left(P, C_S\right)$ (биномиальная кривая распределения)

C_s	P,%											
	0,01	0,1	1,0	3,0	5,0	10	20	25	30	40	50	60
-4,0	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,49	0,49	0,46	0,41	0,31
-3,8	0,527	0,527	0,526	0,526	0,526	0,526	0,520	0,52	0,51	0,48	0,42	0,30
-3,6	0,556	0,556	0,556	0,556	0,556	0,555	0,550	0,54	0,54	0,49	0,42	0,28
-3,4	0,588	0,588	0,588	0,588	0,587	0,586	0,580	0,57	0,55	0,50	0,41	0,27
-3,2	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625	0,621	0,610	0,59	0,57	0,51	0,41	0,25
-3,0	0,667	0,667	0,666	0,666	0,665	0,661	0,640	0,62	0,59	0,51	0,40	0,22
-2,8	0,715	0,715	0,715	0,714	0,711	0,703	0,670	0,64	0,60	0,51	0,39	0,20
-2,6	0,770	0,770	0,770	0,766	0,764	0,746	0,700	0,66	0,61	0,51	0,37	0,17
-2,4	0,835	0,833	0,830	0,826	0,820	0,792	0,720	0,67	0,62	0,51	0,35	0,17
-2,2	0,914	0,910	0,905	0,895	0,882	0,842	0,750	0,69	0,64	0,50	0,33	0,12
-2,0	1,01	1,00	0,990	0,970	0,950	0,900	0,780	0,71	0,64	0,49	0,31	0,09
-1,8	1,11	1,11	1,09	1,06	1,02	0,940	0,800	0,72	0,64	0,48	0,28	0,05
-1,6	1,26	1,24	1,20	1,14	1,10	0,990	0,810	0,73	0,64	0,46	0,25	0,02
-1,4	1,41	1,39	1,32	1,23	1,17	1,04	0,830	0,73	0,64	0,44	0,22	-0,20
-1,2	1,68	1,58	1,45	1,33	1,24	1,08	0,840	0,74	0,63	0,42	0,19	-0,05
-1,0	1,92	1,79	1,59	1,42	1,32	1,13	0,850	0,73	0,62	0,39	0,16	-0,09
-0,8	2,23	2,02	1,74	1,52	1,38	1,17	0,860	0,73	0,60	0,37	0,13	-0,12
-0,6	2,57	2,27	1,88	1,61	1,45	1,20	0,850	0,72	0,59	0,34	0,10	-0,16
-0,4	2,98	2,54	2,03	1,70	1,52	1,23	0,850	0,71	0,57	0,31	0,07	-0,19
-0,2	3,37	2,81	2,18	1,79	1,58	1,26	0,850	0,69	0,55	0,28	0,03	-0,22
0,0	3,72	3,09	2,33	1,88	1,64	1,28	0,840	0,67	0,52	0,25	0,00	-0,25
0,2	4,16	3,38	2,47	1,96	1,70	1,30	0,83	0,65	0,50	0,22	-0,03	-0,28
0,4	4,61	3,66	2,61	2,04	1,75	1,32	0,82	0,63	0,47	0,19	-0,07	-0,31
0,6	5,05	3,96	2,75	2,12	1,80	1,33	0,80	0,61	0,44	0,16	-0,10	-0,34
0,8	5,50	4,24	2,89	2,18	1,84	1,34	0,78	0,58	0,41	0,12	-0,13	-0,37
1,0	5,96	4,53	3,02	2,25	1,88	1,34	0,76	0,55	0,38	0,09	-0,16	-0,39
1,2	6,41	4,81	3,15	2,31	1,92	1,34	0,73	0,52	0,35	0,05	-0,19	-0,42
1,4	6,87	5,09	3,27	2,37	1,95	1,34	0,71	0,49	0,31	0,02	-0,22	-0,44
1,6	7,31	5,37	3,39	2,42	1,97	1,33	0,68	0,46	0,28	-0,02	-0,25	-0,46
1,8	7,76	5,64	3,50	2,46	1,99	1,32	0,64	0,42	0,24	-0,05	-0,28	-0,48
2,0	8,21	5,91	3,60	2,51	2,00	1,30	0,61	0,39	0,20	-0,08	-0,31	-0,49
2,2	8,63	6,14	3,68	2,54	2,02	1,27	0,57	0,35	0,16	-0,12	-0,33	-0,50
2,4	9,00	6,37	3,78	2,60	2,00	1,25	0,52	0,29	0,12	-0,14	-0,35	-0,51
2,6	9,39	6,54	3,86	2,63	2,00	1,21	0,48	0,25	0,085	-0,17	-0,37	-0,51
2,8	9,77	6,86	3,96	2,65	2,00	1,18	0,44	0,22	0,057	-0,20	-0,39	-0,51
3,0	10,16	7,10	4,05	2,66	1,97	1,13	0,39	0,19	0,027	-0,22	-0,40	-0,51
3,2	10,55	7,35	4,11	2,66	1,96	1,09	0,35	0,15	-0,006	-0,25	-0,41	-0,51
3,4	10,9	7,54	4,18	2,66	1,94	1,06	0,31	0,11	-0,036	-0,27	-0,41	-0,50
3,6	11,3	7,72	4,24	2,66	1,93	1,03	0,28	0,064	-0,072	-0,28	-0,42	-0,49
3,8	11,67	7,97	4,29	2,65	1,90	1,00	0,24	0,032	-0,095	-0,30	-0,42	-0,48
4,0	12,02	8,17	4,34	2,65	1,90	0,96	0,21	0,010	-0,120	-0,31	-0,41	-0,46
4,2	12,40	8,38	4,39	2,64	1,88	0,93	0,19	-0,010	-0,13	-0,31	-0,41	-0,45
4,4	12,76	8,60	4,42	2,63	1,86	0,91	0,15	-0,032	-0,15	-0,32	-0,40	-0,44
4,6	13,12	8,79	4,46	2,62	1,84	0,87	0,13	-0,052	-0,17	-0,32	-0,40	-0,42

Продолжение Приложения Б.2

C_s	P,%								$\Phi_{5\%}$-$\Phi_{95\%}$	Коэффициент скошенности S*
	70	75	80	90	95	97	99	99,9		
-4,0	-0,120	-0,010	-0,21	-0,96	-1,90	-2,65	-4,34	-8,17	2,40	-0,93
-3,8	-0,095	-0,032	-0,24	-1,00	-1,90	-2,65	-4,29	-7,97	2,426	-0,91
-3,6	-0,072	-0,064	-0,28	-1,03	-1,93	-2,66	-4,24	-7,72	2,486	-0,89
-3,4	-0,036	-0,11	-0,31	-1,06	-1,94	-2,66	-4,18	-7,54	2,527	-0,86
-3,2	-0,006	-0,15	-0,35	-1,09	-1,96	-2,66	-4,11	-7,35	2,58	-0,83
-3,0	-0,027	-0,19	-0,39	-1,13	-1,97	-2,66	-4,05	-7,10	2,64	-0,80
-2,8	-0,057	-0,22	-0,44	-1,18	-2,00	-2,65	-3,86	-6,86	2,71	-0,76
-2,6	-0,085	-0,25	-0,48	-1,21	-2,00	-2,63	-3,86	-6,54	2,76	-0,71
-2,4	-0,12	-0,29	-0,52	-1,25	-2,00	-2,60	-3,78	-6,37	2,82	-0,67
-2,2	-0,16	-0,35	-0,57	-1,27	-2,02	-2,54	-3,68	-6,14	2,90	-0,62
-2,0	-0,20	-0,39	-0,61	-1,30	-2,00	-2,51	-3,60	-5,91	2,95	-0,57
-1,8	-0,24	-0,42	-0,64	-1,32	-1,99	-2,46	-3,50	-5,64	3,01	-0,51
-1,6	-0,28	-0,46	-0,68	-1,33	-1,97	-2,42	-3,39	-5,37	3,07	-0,45
-1,4	-0,31	-0,49	-0,71	-1,34	-1,95	-2,37	-3,27	-5,09	3,12	-0,39
-1,2	-0,35	-0,52	-0,73	-1,34	1,92	-2,31	-3,15	-4,81	3,16	-0,34
-1,0	-0,38	-0,55	-0,76	-1,34	-1,88	-2,25	-3,02	-4,53	3,20	-0,27
-0,8	-0,41	-0,58	-0,79	-1,34	-1,84	-2,18	-2,89	-4,24	3,22	-0,22
-0,6	-0,44	-0,61	-0,80	-1,33	-1,80	-2,12	-2,75	-3,96	3,25	-0,17
-0,4	-0,47	-0,63	-0,82	-1,32	-1,75	-2,04	-2,61	-,366	3,27	-0,11
-0,2	-0,50	-0,65	-0,83	-1,30	-1,70	-1,96	-2,47	-3,38	3,28	-0,05
0,0	-0,52	-0,67	-0,84	-1,28	-1,64	-1,88	-2,33	-3,09	3,28	0,00
0,2	-0,55	-0,69	-0,85	-1,26	-1,58	-1,79	-2,18	-2,81	3,28	0,06
0,4	-0,57	-0,71	-0,85	-1,23	-1,52	-1,70	-2,03	-2,54	3,27	0,11
0,6	-0,59	-0,72	-0,85	-1,20	-1,45	-1,61	-1,88	-2,27	3,25	0,17
0,8	-0,60	-0,73	-0,86	-1,17	-1,38	-1,52	-1,74	-2,02	3,22	0,22
1,0	-0,62	-0,73	-0,85	-1,13	-1,32	-1,42	-1,59	-1,79	3,20	0,28
1,2	-0,63	-0,74	-0,84	-1,08	-1,24	-1,33	-1,45	-1,58	3,16	0,34
1,4	-0,64	-0,73	-0,83	-1,04	-1,17	-1,23	-1,32	-1,39	3,12	0,39
1,6	-0,64	-0,73	-0,81	-0,99	-1,10	-1,14	-1,20	-1,24	3,07	0,45
1,8	-0,64	-0,72	-0,80	-0,94	-1,02	-1,06	-1,09	-1,11	3,01	0,51
2,0	-0,64	-0,71	-0,78	-0,90	-0,95	-0,97	-0,99	-1,00	2,95	0,57
2,2	-0,64	-0,69	-0,75	-0,842	-0,882	-0,895	-0,905	-0,910	2,89	0,62
2,4	-0,62	-0,67	-0,72	-0,792	-0,820	-0,826	-0,830	-0,833	2,82	0,67
6	-0,61	-0,66	-0,70	-0,746	-0,764	-0,766	-0,770	-0,770	2,76	0,72
2,8	-0,60	-0,64	-0,67	-0,703	-0,711	-0,714	-0,715	-0,715	2,71	0,76
3,0	-0,59	-0,62	-0,64	-0,661	-0,665	-0,666	-0,666	-0,667	2,64	0,80
3,2	-0,57	-0,59	-0,61	-0,621	-0,625	-0,625	-0,625	-0,625	2,59	0,83
3,4	-0,55	-0,57	-0,58	-0,586	-0,587	-0,588	-0,588	-0,588	2,53	0,86
3,6	-0,54	-0,54	-0,55	-0,555	-0,556	-0,556	-0,556	-0,556	2,48	0,89
3,8	-0,51	-0,52	-0,52	-0,526	-0,526	-0,526	-0,526	-0,527	2,43	0,91
4,0	-0,49	-0,49	-0,50	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	2,40	0,92
4,2	-0,47	-0,473	-0,475	-0,476	-0,476	-0,476	-0,477	-0,477	2,36	0,94
4,4	-0,451	-0,454	-0,455	-0,455	-0,455	-0,455	-0,455	-0,455	2,32	0,95

Примечание. * $S = (x_{5\%} + x_{95\%} - 2x_{50\%})/(x_{5\%} - x_{95\%})$

Приложение Б.3

$C_v = f(\lambda_2)$ для вычисления C_v методом приближенно наибольшего правдоподобия при закрепленном C_s/C_v

C_v	$C_s=C_v$								
	$-\lambda_2=0$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,10	0,0022	0,0026	0,0032	0,0038	0,0044	0,0050	0,0058	0,0066	0,0074	0,0082
0,20	0,0090	0,0100	0,0111	0,0122	0,0132	0,0143	0,0157	0,0171	0,0184	0,0199
0,30	0,0212	0,0229	0,0246	0,0263	0,0280	0,0297	0,0318	0,0339	0,0360	0,0381
0,40	0,0402	0,0428	0,0454	0,0479	0,0505	0,0530	0,0562	0,0593	0,0624	0,0655
0,50	0,0686	0,0723	0,0760	0,0797	0,0835	0,0872	0,0916	0,0961	0,101	0,105
0,60	0,109	0,115	0,120	0,125	0,130	0,136	0,142	0,148	0,154	0,160
0,70	0,166	0,173	0,181	0,188	0,195	0,202	0,210	0,218	0,227	0,235
0,80	0,243	0,252	0,262	0,271	0,281	0,290	0,300	0,311	0,321	0,332
0,90	0,342	0,354	0,366	0,377	0,389	0,401	0,414	0,427	0,440	0,453
1,00	0,466	0,480	0,495	0,509	0,523	0,538	0,553	0,569	0,585	0,600
1,10	0,616	0,633	0,650	0,668	0,684	0,701	0,719	0,737	0,755	0,773
1,20	0,792	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Продолжение Приложения Б.3

					C_s=1,5C_v					
C_v	-λ_2=0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					C_s=1,5C_v					
0,10	0,0022	0,0026	0,0031	0,0037	0,0043	0,0049	0,0057	0,0065	0,0073	0,0081
0,20	0,0089	0,0099	0,0109	0,0120	0,0130	0,0140	0,0153	0,0166	0,0178	0,0192
0,30	0,0205	0,0220	0,0236	0,0252	0,0267	0,0283	0,0302	0,0321	0,0340	0,0358
0,40	0,0377	0,0399	0,0421	0,0444	0,0466	0,0488	0,0514	0,0540	0,0566	0,0591
0,50	0,0617	0,0647	0,0677	0,0707	0,0737	0,0767	0,0800	0,0832	0,0865	0,0897
0,60	0,0930	0,0969	0,101	0.105	0,109	0,113	0,117	0,122	0,127	0,131
0,70	0,136	0,141	0,146	0,151	0,156	0,161	0,167	0,172	0,178	0,184
0,80	0,189	0,195	0,202	0,208	0,214	0,221	0,227	0,234	0,241	0,248
0,90	0,255	0,263	0,271	0,278	0,286	0,294	0,302	0,310	0,319	0,327
1,00	0,336	0,345	0,354	0,363	0,372	0,381	0,391	0,401	0,411	0,421
1,10	0,431	0,441	0,452	0,463	0,474	0,484	0,496	0,507	0,519	0,530
1,20	0,542	0,554	0,566	0,579	0,591	0,603	0,616	0,630	0,643	0,656
1,30	0,669	0,683	0,697	0,711	0,725	0,739	0,754	0,768	0,783	0,798
1,40	0,813	0,828	0,844	0,860	0,875	0,891	0,907	0,924	0,940	0,957
1,50	0,973	0,990	1,008	1,025	1,042	1,060	1,078	1,096	1,114	1,132
1,60	1,150	1,169	1,188	1,207	1,226	1,245	1,265	1,285	1,305	1,324
1,70	1,344	1,365	1,386	1,406	1,427	1,448	1,469	1,491	1,512	1,533
1,80	1,555	1,577	1,599	1,622	1,644	1,666	1,690	1,713	1,736	1,759
1,90	1,782	1,806	1,830	1,854	1,878	1,902	1,927	1,952	1,976	2,001
2,00	2,026	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Продолжение Приложения Б.3

C_v	-λ_2=0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					C_s=2C_v					
0,10	0.0022	0,0026	0,0031	0,0037	0,0043	0,0049	0,0056	0,0063	0,0071	0,0079
0,20	0,0087	0,0096	0,0106	0,0116	0,0126	0,0137	0,0148	0,0160	0,0172	0,0185
0,30	0,0198	0,0212	0,0226	0,0241	0,0256	0,0271	0,0287	0,0304	0,0321	0,0339
0,40	0,0357	0,0357	0,0394	0,0414	0,0434	0,0454	0,0476	0,0497	0,0519	0,0542
0,50	0,0565	0,0589	0,0613	0,0638	0,0664	0.0690	0,0716	0,0743	0,0771	0,0799
0,60	0,0828	0,0858	0,0887	0,0918	0,0949	0,0981	0,101	0,105	0,108	0,11
0,70	0,115	0,118	0,122	0,126	0,129	0,133	0,137	0,141	0,145	0,149
0,80	0,153	0,157	0,162	0,166	0,170	0,175	0,180	0,184	0,189	0,194
0,90	0,198	0,203	0,208	0,213	0,218	0,224	0,229	0,234	0,240	0,245
1,00	0,251	0,256	0,262	0,268	0,274	0,280	0,286	0,292	0,298	0,304
1,10	0,311	0,317	0,323	0,330	0,337	0,343	0,350	0,357	0,364	0,371
1,20	0,378	0,386	0,393	0,400	0,408	0,415	0,423	0,431	0,438	0,446
1,30	0,454	0,462	0,171	0,479	0,487	0,496	0,504	0,513	0,521	0,530
1,40	0,539	0,548	0,557	0,566	0,575	0,584	0,594	0,603	0,613	0,623
1,50	0,632	0,642	0,652	0,662	0,672	0,682	0,692	0,703	0,713	0,724
1,60	0,734	0,745	0,756	0,767	0,778	0,789	0,800	0,811	0,823	0,834
1,70	0,846	0,857	0,860	0,881	0,893	0,905	0,917	0,929	0,911	0,953
1,80	0,966	0,978	0,991	1,004	1,016	1,029	1,042	1,055	1,069	1,082
1,90	1,095	1,109	1,122	1,136	1,150	1,163	1,177	1,191	1,205	1,220
2,00	1,234	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Продолжение Приложения Б.3

C_v	λ_2=0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					C_s=3C_v					
0,10	0.0022	0,0026	0,0031	0,0037	0,0043	0,0048	0,0055	0,0062	0,0070	0,0078
0,20	0,0085	0,0094	0,0104	0,0113	0,0122	0,0132	0,0143	0,0154	0,0165	0,0176
0,30	0,0188	0,0201	0,0214	0,0227	0,0240	0,0253	0,0267	0,0282	0,0297	0,0311
0,40	0,0326	0,0342	0,0359	0,0375	0,0391	0,0408	0,0425	0,0443	0,0461	0,0479
0,50	0,0497	0,0516	0,0535	0,0555	0,0574	0.0594	0,0614	0,0635	0,0656	0,0677
0,60	0,0698	0,0720	0,0742	0,0764	0,0786	0,0808	0,0832	0,0856	0,0879	0,0903
0,70	0,0926	0,0951	0,0976	0,100	0,103	0,105	0,108	0,110	0,113	0,116
0,80	0,118	0,121	0,124	0,127	0,129	0.132	0,135	0,138	0,141	0,144
0,90	0,147	0,150	0,153	0,156	0,159	0,162	0,165	0,168	0,171	0,174
1,00	0,177	0,181	0,184	0,187	0,191	0,194	0,197	0,201	0,204	0,208
1,10	0,211	0,215	0,218	0,222	0,225	0,229	0,232	0,236	0,240	0,243
1,20	0,247	0,251	0,255	0,258	0,262	0,266	0,270	0,274	0,277	0,281
1,30	0,285	0,289	0,294	0,298	0,302	0,306	0,311	0,315	0,319	0,323
1,40	0,327	0,332	0,336	0,340	0,345	0,349	0,354	0,358	0,363	0,367
1,50	0,372	0,376	0,381	0,386	0,390	0,395	0,400	0,404	0,409	0,414
1,60	0,419	0,424	0,428	0,433	0,438	0,443	0,448	0,453	0,458	0,463
1,70	0,468	0,474	0,479	0,484	0,489	0,495	0,500	0,505	0,511	0,516
1,80	0,521	0,527	0,532	0,538	0,543	0,549	0,555	0,560	0,566	0,572
1,90	0,578	0,584	0,589	0,595	0,600	0,606	0,612	0,618	0,624	0,630
2,00	0,636	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Продолжение Приложения Б.3

C_v	λ_2=0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					C_s=4C_v					
0,10	0,0022	0,0026	0,0031	0,0037	0,0043	0,0048	0,0055	0,0062	0,0069	0,0076
0,20	0,0083	0,0092	0,0101	0,0110	0,0119	0,0128	0,0138	0,0148	0,0159	0,0169
0,30	0,0180	0,0192	0,0203	0,0215	0,0227	0,0239	0,0252	0,0265	0,0279	0,0292
0,40	0,0305	0,0319	0,0334	0,0348	0,0363	0,0377	0,0392	0,0408	0,0423	0,0439
0,50	0,0454	0,0471	0,0488	0,0505	0,0522	0,0538	0,0556	0,0574	0,0592	0,0609
0,60	0,0627	0,0646	0,0665	0,0683	0,0702	0,0721	0,0741	0,0760	0,0780	0,0800
0,70	0,0820	0,0840	0,0861	0,0882	0,0903	0,0923	0,0946	0,0966	0,0989	0,101
0,80	0,103	0,105	0,108	0,110	0,112	0,114	0,117	0,119	0,121	0,124
0,90	0,126	0,128	0,131	0,133	0,136	0,138	0,141	0,143	0,146	0,148
1,00	0,151	0,153	0,156	0,158	0,161	0,163	0,166	0,169	0,171	0,174
1,10	0,177	0,179	0,182	0,185	0,188	0,190	0,193	0,196	0,199	0,201
1,20	0,204	0,207	0,210	0,213	0,216	0,219	0,222	0,224	0,227	0,230
1,30	0,233	0,236	0,239	0,242	0,245	0,248	0,251	0,254	0,258	0,261
1,40	0,264	0,267	0,270	0,273	0,276	0,279	0,283	0,286	0,289	0,292
1,50	0,296	0,299	0,320	0,305	0,309	0,312	0,315	0,319	0,322	0,325
1,60	0,329	0,332	0,336	0,339	0,342	0,346	0,349	0,353	0,356	0,360
1,70	0,363	0,367	0,370	0,374	0,377	0,381	0,384	0,388	0,392	0,395
1,80	0,399	0,403	0,406	0,410	0,414	0,417	0,421	0,425	0,429	0,432
1,90	0,436	0,440	0,444	0,447	0,451	0,455	0,459	0,463	0,467	0,471
2,00	0,474	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Приложение В.4

Критические значения F-распределения при α=5% ([16] табл. 12)

f_2 \ f_1	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120
3	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,84	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55
4	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66
5	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40
6	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70
7	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,58	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27
8	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,00	2,97
9	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75
10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,84	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58
12	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34
15	3,29	3,06	2,90	2,80	2,70	2,65	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11
20	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90
24	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,26	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79
30	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,02	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68
40	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58
60	2,76	2,52	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47
120	2,68	2,45	2,29	2,18	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35

Содержание

ВВЕДЕНИЕ 3

Тема I. Годовой сток 5
- Задание 1. Оценка параметров функции распределения вероятностей и построение кривых обеспеченности годового стока по гидрометрическим данным 5
- Задание 2. Оценка репрезентативности периода наблюдений 12
- Задание 3. Приведение параметров кривых обеспеченности годового стока к многолетнему периоду 14
- Задание 4. Расчет годового стока при отсутствии материалов гидрометрических наблюдений 17

Тема II. Внутригодовое распределение стока 21
- Задание 5. Расчеты распределения стока по сезонам года методом компоновки 21
- Задание 6. Расчет внутрисезонного распределения 25
- Задание 7. Выбор расчетного года по обеспеченности лимитирующего периода, сезона и месяца 26
- Задание 8. Выбор года из числа фактических по оценке дефицитов стока ... 28
- Задание 9. Определение ординат кривой продолжительности суточных расходов воды и коэффициента естественной зарегулированности 29
- Задание 10. Построение средней кривой продолжительности суточных расходов воды. Исследование зависимости внутригодового распределения от водности года 31
- Задание 11. Расчеты внутригодового распределения стока с учетом материалов кратковременных гидрометрических наблюдений 33

Тема III. Минимальные расходы воды 36
- Задание 12. Определение минимальных 30-дневных расходов воды по таблицам ежедневных расходов воды 36
- Задание 13. Расчет минимального стока при наличии гидрометрических наблюдений 37
- Задание 14. Определение минимальных расходов воды при отсутствии материалов наблюдений 38

Тема IV. Максимальный сток 46
- Задание 15. Расчет максимальных расходов воды весеннего половодья при наличии материалов наблюдений 46
- Задание 16. Расчет максимальных расходов воды весеннего половодья при отсутствии материалов наблюдений 48
- Задание 17. Расчет максимальных расходов воды дождевых паводков при наличии материалов наблюдений 54
- Задание 18. Расчет максимальных расходов воды дождевых паводков при отсутствии материалов наблюдений по редукционной формуле 55

Задание 19. Расчет максимальных расходов воды дождевых паводков по формуле предельной интенсивности стока 59
Задание 20. Построение расчетного гидрографа по моделям наблюдавшихся весенних половодий 66
Задание 21. Построение расчетного гидрографа весеннего половодья при отсутствии материалов наблюдений по типовому уравнению 69
Задание 22. Построение расчетного гидрографа дождевого паводка по типовому уравнению при отсутствии материалов гидрометрических наблюдений 70

Тема V. Учет и прогноз изменений стока под влиянием хозяйственной деятельности 74
Задание 23. Установление времени начала нарушения естественного стока 74
Задание 24. Оценка изменений стока под влиянием хозяйственной деятельности 78
Задание 25. Прогноз изменений стока под влиянием будущего водохранилища 80

ЛИТЕРАТУРА 84

ПРИЛОЖЕНИЯ 85

Учебное издание

Евстигнеев Валерий Михайлович
Магрицкий Дмитрий Владимирович

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО КУРСУ

«РЕЧНОЙ СТОК И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ»

Редактор В. А. Стряпчий
Верстка Т. Г. Левчич
Корректор Л. С. Горюнова

Подписано в печать 17.05.2013. Формат 60x90/16. Печать РИЗО.
Усл. печ. л. 7,75. Тираж 150 экз. Заказ № 1079.
Отпечатано в Полиграфическом отделе географического факультета.
119991, Москва, Ленинские горы, МГУ им. М. В. Ломоносова, географический факультет.