

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Саратовский государственный аграрный университет

имени Н. И. Вавилова»

ГИДРОЛОГИЯ

методические указания к выполнению лабораторных работ

для студентов I, II курса

Направление подготовки

35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура

Саратов 2016

Гидрология: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов I, II курса специальности (направления подготовки) 35.03.08 «Водные биоресурсы и аквакультура» / Сост.: Б.В. Фисенко// ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2016. – 126 с.

© Фисенко Б.В., 2016

© ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2016

3. РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОДОВОГО СТОКА И ЕГО ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

3.1. Общие положения

Основная цель инженерной гидрологии – обеспечение народного хозяйства надежной гидрологической информацией, а главная задача – определение гидрологических характеристик, количественно описывающих гидрологический режим рек.

Гидрологические характеристики, необходимые для водохозяйственного проектирования и обеспечения надежной эксплуатации гидротехнических сооружений и их комплексов, инженерно-мелиоративных и инженерно-экологических систем, а также систем водоснабжения, являются расчетными.

К ним относятся: среднегодовой, максимальный и минимальный сток воды, распределение стока внутри года, расход и сток наносов.

Одной из важнейших расчетных характеристик годового стока является его норма.

Норма годового стока – это среднеарифметическое значение годового стока за многолетний период такой продолжительности, при увеличении которой полученное среднее существенно не меняется.

Годовой сток – это количество воды, стекающей с водосборного бассейна за год.

При гидрологических расчетах для строительного проектирования следует руководствоваться Сводом правил (СП 33-101-2003) по определению расчетных гидрологических характеристик. Свод правил содержит основные методы и схемы расчета средних годовых, максимальных расходов воды и объемов стока весеннего половодья и дождевых паводков, гидрографов стока, внутригодового распределения стока, отметок наивысших уровней воды рек и озер и минимальных расходов воды.

Определение расчетных гидрологических характеристик должно основываться на данных гидрометеорологических наблюдений, опубликованных

в официальных документах Росгидромета, а также на данных наблюдений, содержащихся в архивах Госгидрометфонда, изыскательских, проектных и других организаций, включая материалы опроса местных жителей. Кроме того, следует использовать данные наблюдений за гидрологическими характеристиками по архивным, литературным и другим материалам, собранным до начала регулярных наблюдений. При этом необходимо провести тщательную оценку достоверности и точности полученных материалов.

При недостаточности данных гидрометрических наблюдений параметры кривых распределения вероятностей гидрологических характеристик, а также основных элементов расчетных гидрографов следует привести к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений в пунктах – аналогах. Приведение к многолетнему периоду рассматриваемой гидрологической характеристики будет рассмотрено в п. 3.3.

При отсутствии данных гидрометеорологических наблюдений в пункте проектирования обязательно проводятся гидрометеорологические изыскания для повышения точности и надежности расчетов, выполняемых методами, изложенными в п. 3.5. Изыскания осуществляются в соответствии со СНиП 11-02-96 “Инженерные изыскания для строительства. Основные положения” и СП 11-103-97 “Инженерно- гидрометеорологические изыскания для строительства”. Материалы полевых гидрометеорологических изысканий также подлежат дальнейшему анализу и последующим расчетам в соответствии с рекомендациями по приведению кратковременных наблюдений к многолетнему периоду и в соответствии со Сводом правил (СП 33-101-2003).

Данные гидрометрических наблюдений, вызывающие сомнение, следует подвергать проверке, включающей анализ:

- полноты и надежности наблюдений за уровнями и расходами воды, наличия данных о наивысших (мгновенных и среднесуточных) и наименьших уровнях воды за время наблюдений при свободном ото льда русле, ледяном покрове, ледоходе, заторе льда, русле заросшем водной растительностью,

подпоре от нижерасположенной плотины, сбросах воды выше гидрометрического створа, полноты учета стока воды на поймах и в протоках и др.;

- увязки высотных отметок водомерных постов и уровней воды за весь период наблюдений, увязки годового и сезонного стока воды, максимальных и минимальных расходов и уровней воды в пунктах наблюдений по длине реки;

- обоснованности способов подсчета стока воды по осредненным или ежегодным кривым расходов воды или же другими методами;

- обоснованности экстраполяции кривых расходов воды до наивысших и наинизших уровней, а также точности расчета стока воды по кривым расходов за год, сезон, месяц, сутки;

- необходимости восстановления наблюдений, пропущенных за отдельные годы, месяцы, дни;

- точности расчетов стока воды за зимний и переходный периоды, обоснованности принятых при расчете стока воды коэффициентов, учитывающих зарастание русла водной растительностью, правильности учета деформации русла и переменного подпора уровня воды;

- влияния хозяйственной деятельности на речной сток; включая влияние плотины или взаимного подпора основной реки и притока в местах наблюдений за стоком;

- частоты наблюдений, обеспечивающей регистрацию наивысшего и наинизшего уровней (расходов) воды.

Ненадежные данные гидрометрических наблюдений при невозможности их уточнения исключаются из расчетного ряда наблюдений. В необходимых случаях должен выполняться пересчет стока воды за отдельные сутки, месяцы, годы.

Для рек, в бассейнах которых имеет место интенсивная хозяйственная деятельность, существенно нарушающая естественный гидрологический режим рек, определение расчетных гидрологических характеристик производится по двум расчетным схемам.

Первая расчетная схема предполагает приведение гидрологических рядов наблюдений к естественным однородным и стационарным условиям. В расчетное значение гидрологической характеристики, полученной по естественному ряду, вводится поправка на влияние хозяйственной деятельности. Численное ежегодное значение поправки представляет собой разность между бытовым и естественным стоком. Значение поправки расчетной вероятности превышения определяется по кривой распределения поправок.

Приведение речного стока к естественным условиям не производится, если суммарное значение его изменений не выходит за пределы случайной средней квадратической погрешности исходных данных наблюдений.

Приведение нарушенного хозяйственной деятельностью речного стока к естественным условиям производится:

- водобалансовыми и гидравлическими методами с учетом изменения всех элементов водного баланса;
- статистическими методами на основе парной и множественной регрессии.

Выбор методов определяется наличием и качеством необходимой гидрометеорологической информации и информации о факторах хозяйственной деятельности. При комплексном учете влияния различных видов хозяйственной деятельности применяются методы регрессионного анализа, а при дифференцированном учете влияния хозяйственной деятельности – водобалансовые методы.

Водобалансовые методы базируются на детальном данных наблюдений за элементами водного баланса с учетом антропогенных факторов.

На основе регрессионных методов восстановление естественного стока производится по имеющейся неполной или косвенной информации о факторах хозяйственной деятельности или по данным о стоке бассейнов-индикаторов, имеющих естественный режим за весь период наблюдений. Восстановление стока малых и средних рек допускается производить по основным стокоформирующим метеорологическим факторам, а также по стоку

бассейнов-аналогов, имеющих естественный режим за весь период наблюдений. Во всех случаях для восстановления стока используется множественная линейная и нелинейная регрессия.

Во второй расчетной схеме гидрологические ряды наблюдений приводятся к бытовому стоку за весь период наблюдений в предположении, что сложившийся комплекс хозяйственной деятельности с учетом реальных планов развития народного хозяйства действовал с начала наблюдений. Восстановление бытового стока за весь период наблюдений производится, как и в первом случае, водобалансовыми и регрессионными методами. Определение расчетной гидрологической характеристики в этом случае производится по данным за весь период наблюдений без введения поправок на хозяйственную деятельность.

Оценка точности восстановленного стока осуществляется общепринятыми статистическими методами. Восстановленный ряд проверяется на однородность с использованием генетических и статистических методов.

Методология представленных двух расчетных схем в принципиальном плане может быть применена и для расчетов основных гидрологических характеристик с учетом влияния возможного глобального антропогенного изменения климата.

3.2. Вычисление расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений

Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности осуществляется путем применения аналитических и эмпирических функций распределения ежегодных вероятностей превышения - кривых обеспеченностей. При этом должны выполняться следующие условия:

1. Гидрологический ряд должен быть однородным. Оценка однородности осуществляется для выяснения фазовой стабильности величин, состав-

ляющих ряд, т.к. внутрирядную однородность данных наблюдений могут существенно нарушить антропогенные изменения естественных условий формирования стока (распашка целины, вырубка леса, строительство водохранилищ и других гидротехнических объектов и т.п.).

При оценке однородности проводят оценку расхождений между численными значениями среднеарифметических величин стока и дисперсий (*квадратов среднеквадратических отклонений*) σ^2 .

Для оценки однородности значений обычно используют t - критерий Стьюдента, а для оценки однородности дисперсий – F – критерий Фишера.

Если в результате оценки ряд признается не однородным, то его приводят к естественным однородным и стационарным условиям методами, указанными в предыдущем пункте.

2. Период наблюдений должен быть репрезентативен (представителен). Продолжительность периода наблюдений считается достаточной, если рассматриваемый период репрезентативен (представителен), а относительная средняя квадратическая погрешность расчетного значения исследуемой гидрологической характеристики не превышает 10%.

Оценка репрезентативности ряда наблюдений за n лет производится по рекам-аналогам с числом лет наблюдений $N > n$, при $N > 50$ лет. Репрезентативность ряда наблюдений за гидрологической характеристикой может также определяться по разностным интегральным кривым речного стока или сопоставлением кривых распределения речного стока по реке-аналогу за периоды n и N лет.

Разностная интегральная кривая строится по зависимости $\sum(K_i - 1) = f(T)$. Для этого вычисляют модульный коэффициент стока:

$$K_i = Q_i / \bar{Q} \quad (3.1)$$

Для построения данной кривой последовательно суммируют отклонения модульных коэффициентов от среднего значения $K = 1$, откладывая затем по оси ординат $\sum(K - 1)$, а по оси абсцисс – T (годы).

Период времени, в котором сокращенная суммарная кривая имеет восходящее направление, а $\sum(K - 1)$ величина положительная, соответствует многоводной фазе; период в котором кривая имеет нисходящее направление, а $\sum(K - 1)$ величина отрицательная, соответствует маловодной фазе водного режима.

Цикл – это сочетание многоводной и маловодной фаз и лет средней водности.

Начало и конец циклов удобно определять по переломам кривой.

Репрезентативным признается период наблюдений, включающий несколько законченных циклов (*не менее двух*). Не полные циклы (*имеющие только много-или маловодную фазы*) из расчетного ряда исключаются.

3. Если относительная средняя квадратическая погрешность превышает указанный в пункте 2 предел (*10 %*) и (или) период наблюдений нерепрезентативен, необходимо осуществить приведение рассматриваемой гидрологической характеристики к многолетнему периоду. С практической точки зрения, когда имеется возможность приведения данных наблюдений к более длительному периоду, эту операцию всегда надо осуществлять, т.к. при этом повышается точность инженерно- гидрологических расчетов.

Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности осуществляется на основе применения аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения.

В практике гидрологических расчетов к основным параметрам кривой обеспеченности относятся: средний за многолетний период годовой сток (норма), коэффициенты вариации (*изменчивости*) C_v и асимметрии C_s .

Норма стока определяется как среднеарифметическое значение одной из гидрологических характеристик:

среднемноголетний расход, ($\text{м}^3/\text{с}$)

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^n Q_i / n ; \quad (3.2)$$

среднемноголетний модуль годового стока, (л/с·га)

$$\bar{q} = \sum_{i=1}^n q_i / n; \quad (3.3)$$

среднемноголетний объем годового стока, (м³)

$$\bar{W} = \sum_{i=1}^n W_i / n; \quad (3.4)$$

среднемноголетний слой годового стока, (мм)

$$\bar{h} = \sum_{i=1}^n h_i / n. \quad (3.5)$$

В выражениях (3.2) – (3.5) n – общее число членов ряда рассматриваемой гидрологической характеристики.

Коэффициент вариации C_v характеризует относительную (в долях среднего арифметического) меру изменчивости ряда и может определяться по выражениям (3.6) или (3.7):

$$C_v = \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2 / (n - 1)}; \quad (3.6)$$

$$C_v = \sigma_x / \bar{x}, \quad (3.7)$$

где \bar{x} - среднеарифметическая величина членов ряда, заданной гидрологической характеристики; σ_x – среднее квадратическое отклонение ряда, характеризует изменчивость ряда в тех же единицах измерения, что и величина x (см. формулу 3.10).

Коэффициент асимметрии C_s характеризует степень асимметричности данного ряда. Ряд с одинаковым числом положительных и отрицательных отклонений ($\bar{x}_i - \bar{x}$) будет симметричным, при несоблюдении этого условия ряд будет асимметричным. Коэффициент асимметрии устанавливают по выражению:

$$C_s = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 / n\sigma^3 = \sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3 / nC_v^3. \quad (3.8)$$

Задание 3.2

1. Вычислить среднеарифметический среднегодовой расход изучаемой реки \bar{Q} , определить среднее квадратичное отклонение σ_Q , коэффициенты вариации C_v и асимметрии C_s .

2. Оценить репрезентативность ряда наблюдений, построив разностную суммарную кривую. Определить с учетом цикличности средний многолетний годовой сток (норму) \bar{Q} .

3. Оценить достаточность ряда наблюдений, определив среднюю квадратическую ошибку нормы стока $\varepsilon_{\bar{Q}}$, %.

4. Выразить полученное значение нормы стока в виде расхода через другие характеристики стока.

Исходными данными являются: ряд среднегодовых расходов изучаемой реки; площадь водосбора реки F .

Порядок и пример выполнения работы

Среднегодовые расходы воды за имеющийся многолетний период заносят в гр. 3 табл. 3.1.

Таблица 3.1

Вычисление среднего квадратического отклонения от нормы стока
р. Медведицы (п. Лысье Горы) $F=7610 \text{ км}^2$

№ п/п	Год	Ср. год. расход Q_i , м ³ /с	$\Delta Q = Q_i - \bar{Q}$	ΔQ^2	$k = Q_i / \bar{Q}$	$k - 1$	$\sum(k - 1)$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1936	9,44	-9,68	93,70	0,494	-0,506	-0,506
2	1937	11,4	-7,72	59,60	0,596	-0,404	-0,910
3	1938	12,2	-6,92	47,89	0,638	-0,362	-1,272
4	1939	10,8	-8,32	69,22	0,565	-0,435	-1,707
5	1940	15,7	-3,42	11,70	0,821	-0,179	-1,886
6	1941	29,8	10,68	114,06	1,559	0,559	-1,327
7	1942	31,4	12,28	150,80	1,642	0,642	-0,685
8	1943	9,06	-10,06	101,20	0,474	-0,526	-1,211
9	1944	17,9	-1,22	1,49	0,936	-0,064	-1,275
10	1945	10,5	-8,62	74,30	0,549	-0,451	-1,726
11	1946	32,6	13,48	181,71	1,705	0,705	-1,021
12	1947	20,7	1,58	2,50	1,083	0,083	-0,938
13	1948	33,6	14,48	209,67	1,757	0,757	-0,181
14	1949	16	-3,12	9,73	0,837	-0,163	-0,344

15	1950	11,5	-7,62	58,06	0,601	-0,399	-0,743
16	1951	20,4	1,28	1,64	1,067	0,067	-0,676
17	1952	10,3	-8,82	77,79	0,539	-0,461	-1,137
18	1953	19,5	0,38	0,14	1,020	0,020	-1,117

продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
19	1954	5,49	-13,63	185,78	0,287	-0,713	-1,830
20	1955	34,8	15,68	245,86	1,820	0,820	-1,010
21	1956	21,3	2,18	4,75	1,114	0,114	-0,896
22	1957	25,4	6,28	39,44	1,328	0,328	-0,568
23	1958	15,8	-3,32	11,02	0,826	-0,174	-0,742
24	1959	14,7	-4,42	19,54	0,769	-0,231	-0,973
25	1960	19,5	0,38	0,14	1,020	0,020	-0,953
26	1961	22,6	3,48	12,11	1,182	0,182	-0,771
27	1962	14,2	-4,92	24,21	0,743	-0,257	-1,028
28	1963	21,2	2,08	4,33	1,109	0,109	-0,919
29	1964	25,9	6,78	45,97	1,355	0,355	-0,564
30	1965	21,6	2,48	6,15	1,130	0,130	-0,434
31	1966	11,2	-7,92	62,73	0,586	-0,414	-0,848
32	1967	8,2	-10,92	119,25	0,429	-0,571	-1,419
33	1968	19,6	0,48	0,23	1,025	0,025	-1,394
34	1969	7,39	-11,73	137,59	0,387	-0,613	-2,007
35	1970	26,8	7,68	58,98	1,402	0,402	-1,605
36	1971	16,3	-2,82	7,95	0,853	-0,147	-1,752
37	1972	8,16	-10,96	120,12	0,427	-0,573	-2,325
38	1973	13,3	-5,82	33,87	0,696	-0,304	-2,629
39	1974	17,3	-1,82	3,31	0,905	-0,095	-2,724
40	1975	9,1	-10,02	100,40	0,476	-0,524	-3,248
41	1976	14,5	-4,62	21,34	0,758	-0,242	-3,490
42	1977	28,2	9,08	82,45	1,475	0,475	-3,015
43	1978	19,9	0,78	0,61	1,041	0,041	-2,974
44	1979	30,9	11,78	138,77	1,616	0,616	-2,358
45	1980	18,7	-0,42	0,18	0,978	-0,022	-2,380
46	1981	23,8	4,68	21,90	1,245	0,245	-2,135
47	1982	18,8	-0,32	0,10	0,983	-0,017	-2,152
48	1983	14,1	-5,02	25,20	0,737	-0,263	-2,415
49	1984	8,25	-10,87	118,16	0,431	-0,569	-2,984
50	1985	21,2	2,08	4,33	1,109	0,109	-2,875
51	1986	19,9	0,78	0,61	1,041	0,041	-2,834
52	1987	20,3	1,18	1,39	1,062	0,062	-2,772
53	1988	17,7	-1,42	2,02	0,926	-0,074	-2,846
54	1989	12,3	-6,82	46,51	0,643	-0,357	-3,203
55	1990	28,1	8,98	80,64	1,470	0,470	-2,733
56	1991	26,1	6,98	48,72	1,365	0,365	-2,368
57	1992	14,6	-4,52	20,43	0,764	-0,236	-2,604
58	1993	22,2	3,08	9,49	1,161	0,161	-2,443
59	1994	37,3	18,18	330,51	1,951	0,951	-1,492
60	1995	14,9	-4,22	17,81	0,779	-0,221	-1,713
61	1996	19,8	0,68	0,46	1,036	0,036	-1,677
62	1997	21,8	2,68	7,18	1,140	0,140	-1,537
63	1998	26,6	7,48	55,95	1,391	0,391	-1,146
64	1999	16,9	-2,22	4,93	0,884	-0,116	-1,262
65	2000	26,4	7,28	53,00	1,381	0,381	-0,881
66	2001	22,5	3,38	11,42	1,177	0,177	-0,704

67	2002	16,7	-2,42	5,86	0,873	-0,127	-0,831
68	2003	27,8	8,68	75,34	1,454	0,454	-0,377
69	2004	26,4	7,28	53,00	1,381	0,381	0,004

$$\sum Q_i = 1319,29 \quad \sum \Delta Q = 0,01 \quad \sum \Delta Q^2 = 3747,24 \quad \sum k = 69 \quad \sum (k-1) = 0,00$$

Средний многолетний сток определяют по формуле (3.2):

$$\bar{Q} = 1319,29 / 69 = 19,12 \text{ м}^3/\text{с}.$$

В гр. 4 вычисляют отклонение расхода от среднего многолетнего стока за каждый год:

$$\Delta Q = Q_i - \bar{Q}. \quad (3.9)$$

Сумма гр.4 должна равняться нулю, допускается ошибка не более 1 % от среднего многолетнего стока \bar{Q} .

В данном примере $\Delta Q = 0,01 \text{ м}^3/\text{с}$, что составляет 0,05 % от $\bar{Q} = 19,12 \text{ м}^3/\text{с}$.

В гр.5 каждое отклонение возводят в квадрат, затем находят $\sum \Delta Q^2$ для вычисления среднего квадратического отклонения, характеризующего меру рассеяния (отклонения) отдельных значений ряда от среднего арифметического и имеющего такую же размерность, что и члены ряда.

Расчетная формула для определения среднего квадратического отклонения имеет вид:

$$\sigma_{\bar{Q}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 / (n-1)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta Q^2 / (n-1)}. \quad (3.10)$$

$$\text{Тогда } \sigma_{\bar{Q}} = \sqrt{3747,24 / (69-1)} = 7,42 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Затем по выражению (3.7) определяют коэффициент вариации

$$C_v = 7,42 / 19,12 = 0,39.$$

Колебания годового стока, как указывалось выше, характеризуются определенной циклическостью, выраженной обычно сменой много- и маловодных лет, продолжительность и водность которых изменяются в широких пределах.

Для установления циклических колебаний стока и выбора расчетного периода для определения нормы стока строят разностную суммарную кри-

вую $\sum(k-1) = f(T)$. Для этого в графе 6 по выражению (3.1) вычисляют модульные коэффициенты.

Сумма гр.6 должна быть равна числу членов ряда ($\sum k = n$), в данном случае 69.

В гр.7 таблицы 3.1 находят отклонения модульных коэффициентов от единицы. Их сумма должна быть равна нулю.

В гр.8, начиная с нуля, производят последовательное суммирование отклонений модульных коэффициентов от единицы, т.е. находят $\sum(k-1)$. По данным гр.8 за соответствующие годы (гр. 2) на миллиметровке строят разностную суммарную кривую $\sum(k-1) = f(T)$ (рис. 3.1).

Для определения нормы стока берется период, включающий наибольшее число законченных циклов колебаний годового стока.

По разностной суммарной кривой выделяют фазы водного режима, начало и конец каждого цикла и устанавливают продолжительность периода наблюдений, по которому следует определить норму стока. Это расчетный период, включающий только законченные циклы.

Неполные циклы, имеющие только много- или маловодную фазу, из ряда исключаются.

По данному периоду наблюдений вычисляют норму стока с учетом цикличности колебаний годового стока

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^n Q_i / n', \quad (3.11)$$

где n' – число лет в расчетном периоде (с учетом цикличности).

В рассматриваемом примере (см. рис. 3.1) выделены четыре неравных по продолжительности цикла: I – с 1940 по 1945 г. (6 лет), II – с 1946 по 1954 г. (9 лет), III – с 1955 по 1976 г. (22 года), IV – с 1977 по 1989 (13 лет). За расчетный период принимают годы с 1940 по 1989 г. Тогда средний многолетний годовой сток (норма) с учетом цикличности равен:

$$\bar{Q} = 927,35 / 50 = 18,55 \text{ m}^3/\text{c}.$$

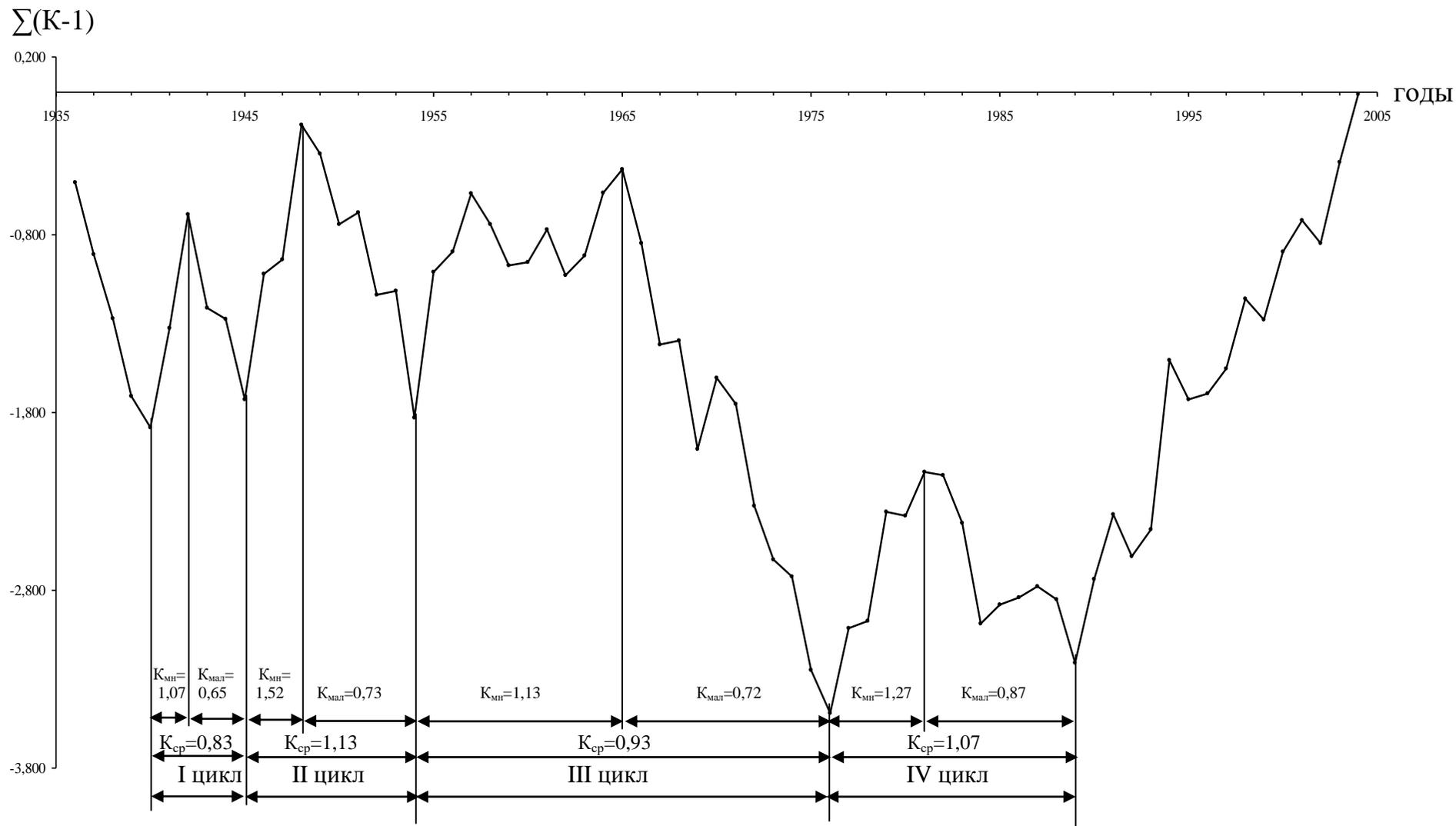


Рис. 3.1 Разностная интегральная (суммарная) кривая среднегодовых расходов реки Медведицы

Таблица 3.2

Вычисление коэффициента вариации

№ п/п	Год	Ср. год. расход \bar{Q} , м3/с	$k = Q_i / \bar{Q}$	$k - 1$	$(k - 1)^2$
1	2	3	4	5	6
1	1940	15,7	0,846	-0,154	0,024
2	1941	29,8	1,606	0,606	0,367
3	1942	31,4	1,693	0,693	0,480
4	1943	9,06	0,488	-0,512	0,262
5	1944	17,9	0,965	-0,035	0,001
6	1945	10,5	0,566	-0,434	0,188
7	1946	32,6	1,757	0,757	0,573
8	1947	20,7	1,116	0,116	0,013
9	1948	33,6	1,811	0,811	0,658
10	1949	16	0,863	-0,137	0,019
11	1950	11,5	0,620	-0,380	0,144
12	1951	20,4	1,100	0,100	0,010
13	1952	10,3	0,555	-0,445	0,198
14	1953	19,5	1,051	0,051	0,003
15	1954	5,49	0,296	-0,704	0,496
16	1955	34,8	1,876	0,876	0,767
17	1956	21,3	1,148	0,148	0,022
18	1957	25,4	1,369	0,369	0,136
19	1958	15,8	0,852	-0,148	0,022
20	1959	14,7	0,792	-0,208	0,043
21	1960	19,5	1,051	0,051	0,003
22	1961	22,6	1,218	0,218	0,048
23	1962	14,2	0,765	-0,235	0,055
24	1963	21,2	1,143	0,143	0,020
25	1964	25,9	1,396	0,396	0,157
26	1965	21,6	1,164	0,164	0,027
27	1966	11,2	0,604	-0,396	0,157
28	1967	8,2	0,442	-0,558	0,311
29	1968	19,6	1,057	0,057	0,003
30	1969	7,39	0,398	-0,602	0,362
31	1970	26,8	1,445	0,445	0,198
32	1971	16,3	0,879	-0,121	0,015
33	1972	8,16	0,440	-0,560	0,314
34	1973	13,3	0,717	-0,283	0,080
35	1974	17,3	0,933	-0,067	0,004
36	1975	9,1	0,491	-0,509	0,259
37	1976	14,5	0,782	-0,218	0,048
38	1977	28,2	1,520	0,520	0,270
39	1978	19,9	1,073	0,073	0,005
40	1979	30,9	1,666	0,666	0,444
41	1980	18,7	1,008	0,008	0,000
42	1981	23,8	1,283	0,283	0,080
43	1982	18,8	1,013	0,013	0,000
44	1983	14,1	0,760	-0,240	0,058
45	1984	8,25	0,445	-0,555	0,308
46	1985	21,2	1,143	0,143	0,020
47	1986	19,9	1,073	0,073	0,005
48	1987	20,3	1,094	0,094	0,009
49	1988	17,7	0,954	-0,046	0,002
50	1989	12,3	0,663	-0,337	0,114

$$\bar{Q} = 18,55$$

$$\sum (K - 1)^2 = 7,802$$

Для определения коэффициента вариации C_v последовательно в табличной форме (табл. 3.2) вычисляют модульный коэффициент k , $(k-1)$, $(k-1)^2$ для каждого года расчетного периода и $\sum (k-1)^2$.

В данном расчетном периоде $\sum (k-1)^2$ составила 7,802. Используя выражение (3.6) получим:

$$C_v = \sqrt{7,802/49} = 0,40.$$

Относительная средняя квадратическая ошибка полученного среднего определяется по формуле:

$$\varepsilon_{\bar{Q}\%} = C_v \cdot 100 / \sqrt{n}. \quad (3.12)$$

Подставляя найденное значение C_v в выражение (3.12) получим:

$$\varepsilon_{\bar{Q}\%} = 0,40 \cdot 100 / \sqrt{50} = 5,66 \% < 10 \%,$$

Поскольку относительная средняя квадратическая ошибка получилась менее 10%, ряд наблюдений для определения нормы стока считается достаточным, а величина среднего годового стока при этом условии называется нормой стока. Следовательно норма стока р. Медведицы (р.п. Лысье Горы), выраженная через расход, составляет 18,55 м³/с.

Полученную норму стока можно выразить через другие характеристики, приведенные в выражениях (3.3) – (3.5):

1. Модуль стока – количество воды, стекающей с единицы площади водосбора в единицу времени:

$$\bar{q} = \bar{Q} \cdot 10^3 / F, \quad (3.13)$$

где F – площадь водосбора, км²; 10^3 – переход от кубометров к литрам.

Тогда $\bar{q} = 18,55 \cdot 10^3 / 7610 = 2,43$ л/с·км².

2. Средний многолетний объем годового стока – объем воды, стекающей с водосбора за какой-либо интервал времени:

$$\bar{W} = \bar{Q} \cdot T, \quad (3.14)$$

где T – число секунд в году, $T = 31,56 \cdot 10^6$ с;

$\bar{W} = 18,55 \cdot 31,56 \cdot 10^6 = 585,44$ м³.

3. Средний многолетний слой годового стока – количество воды, стекающей с водосбора за какой-либо интервал времени, равное толщине слоя, равномерно распределенного по площади водосбора:

$$\bar{h} = \bar{W} / (F \cdot 10^3) = 585,44 \cdot 10^6 / 7610 \cdot 10^3 = 76,9 \text{ мм} \quad (3.15)$$

Кроме этого, определяют также коэффициент стока – отношение объема или слоя стока к количеству выпавших на площадь водосбора осадков, обусловивших возникновение стока:

$$\bar{\eta} = \bar{h} / \bar{X}, \quad (3.16)$$

где \bar{X} – норма осадков в год.

В нашем случае $\bar{\eta} = 76,9 / 400 = 0,19$

Норму осадков определяют по климатическим справочникам, либо по карте (рис. 3.2).

3.3. Расчет характеристик годового стока при недостаточности данных гидрометрических наблюдений

Как указывалось в п. 3.1 при недостаточности данных гидрометрических наблюдений параметры кривых распределения вероятностей гидрологических характеристик необходимо приводить к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений в пунктах – аналогах.

При выборе пунктов-аналогов необходимо выполнение следующих условий:

- возможная географическая близость расположения водосборов;
- сходство климатических условий;
- однородность условий формирования стока, однотипность почв (грунтов) и гидрогеологических условий (дренирование подземных вод), близкая степень залесенности, заболоченности, распаханности;
- отсутствие антропогенных факторов, существенно искажающих гидрологический режим рек (подпор, регулирование стока, сбросы, изъятия на орошение и другие нужды);
- наличие синхронности в колебаниях гидрологических характеристик;

- высокое качество наблюдений в пунктах-аналогах;
- достаточная продолжительность наблюдений, превышающая продолжительность наблюдения в исследуемом или расчетном створе.

Условия при выборе пунктов-аналогов могут несколько различаться в зависимости от определяемой гидрологической характеристики, метода ее расчета и гидрологической изученности рассматриваемой территории.

При выборе пункта – аналога для целей приведения гидрологических характеристик и параметров основным критерием является наличие синхронности в колебаниях речного стока расчетного створа и створов – аналогов. Синхронность количественно выражается через коэффициент парной или множественной (при одновременном использовании нескольких аналогов) корреляции между стоком в рассматриваемых пунктах наблюдений, а в случае использования метеорологической информации между гидрологическими и метеорологическими характеристиками.

В слабоизученных в гидрометрическом отношении районах, где пункты - аналоги или вообще отсутствуют, или их недостаточно, в качестве аналогов может использоваться другая информация, определяющая рассматриваемую гидрологическую характеристику. В этой ситуации необходимо повысить требования к анализу полученной в результате приведения информации, чтобы исключить из рассмотрения случайные связи, не отражающие их физическую природу. При этом может быть использован региональный анализ зависимостей рассматриваемой гидрологической характеристики от факторов, ее определяющих.

При выборе аналогов следует учитывать как возможно большую продолжительность наблюдений в этих пунктах, так и более тесные связи между стоком в приводимом к многолетнему периоду пункте и стоком в пунктах - аналогах.

При восстановлении значений стока за отдельные годы и расчета параметров и квантилей распределения необходимо производить статистиче-

скую оценку значимости и устойчивости получаемых решений с определением случайных и систематических погрешностей.

Приведение гидрологических рядов и их параметров распределения к многолетнему периоду, как правило, осуществляется аналитическими методами. Для предварительных расчетов допускается использование графических и графоаналитических методов.

При расчете параметров распределения и значений стока за отдельные годы с использованием аналитических методов, основанных на регрессионном анализе, должны соблюдаться следующие условия:

$$n \geq 6-10; R \geq R_{кр}; R/\sigma_R \geq A_{кр}; k/\sigma_k \geq B_{кр}; y/\sigma_y \geq C_{кр} \quad (3.17)$$

где n - число совместных лет наблюдений в приводимом пункте и пунктах - аналогах ($n \geq 6$ при одном аналоге, $n \geq 10$ при двух и более аналогах); R - коэффициент парной или множественной корреляции между значениями стока исследуемой реки и значениями стока в пунктах – аналогах; k - коэффициенты уравнения регрессии; σ_k - средняя квадратическая погрешность коэффициента регрессии, $R_{кр}$ – критическое значение коэффициента парной или множественной корреляции (обычно задается $\geq 0,7$); y – восстановленное значение рассматриваемой гидрологической характеристики; σ_y – средняя квадратическая погрешность восстановленного значения гидрологической характеристики, $A_{кр}$, $B_{кр}$ и $C_{кр}$ – соответственно критические значения отношений R/σ_R , k/σ_k и y/σ_y (обычно задается $\geq 2,0$, что обеспечивает по крайней мере 95%-ый уровень надежности расчетов). Если хотя бы один из коэффициентов уравнения регрессии не удовлетворяет условию (3.17), то это уравнение не используется для приведения к многолетнему периоду.

В слабо изученном в гидрологическом отношении районе значения $R_{кр}$, $A_{кр}$, $B_{кр}$ и $C_{кр}$ могут быть уменьшены, а в хорошо изученном - увеличены. При увеличении значений $R_{кр}$, $A_{кр}$, $B_{кр}$ и $C_{кр}$ возрастает точность, но уменьшается объем восстановленных данных и наоборот при уменьшении этих значений увеличивается объем восстановленных данных, но уменьшается их точность.

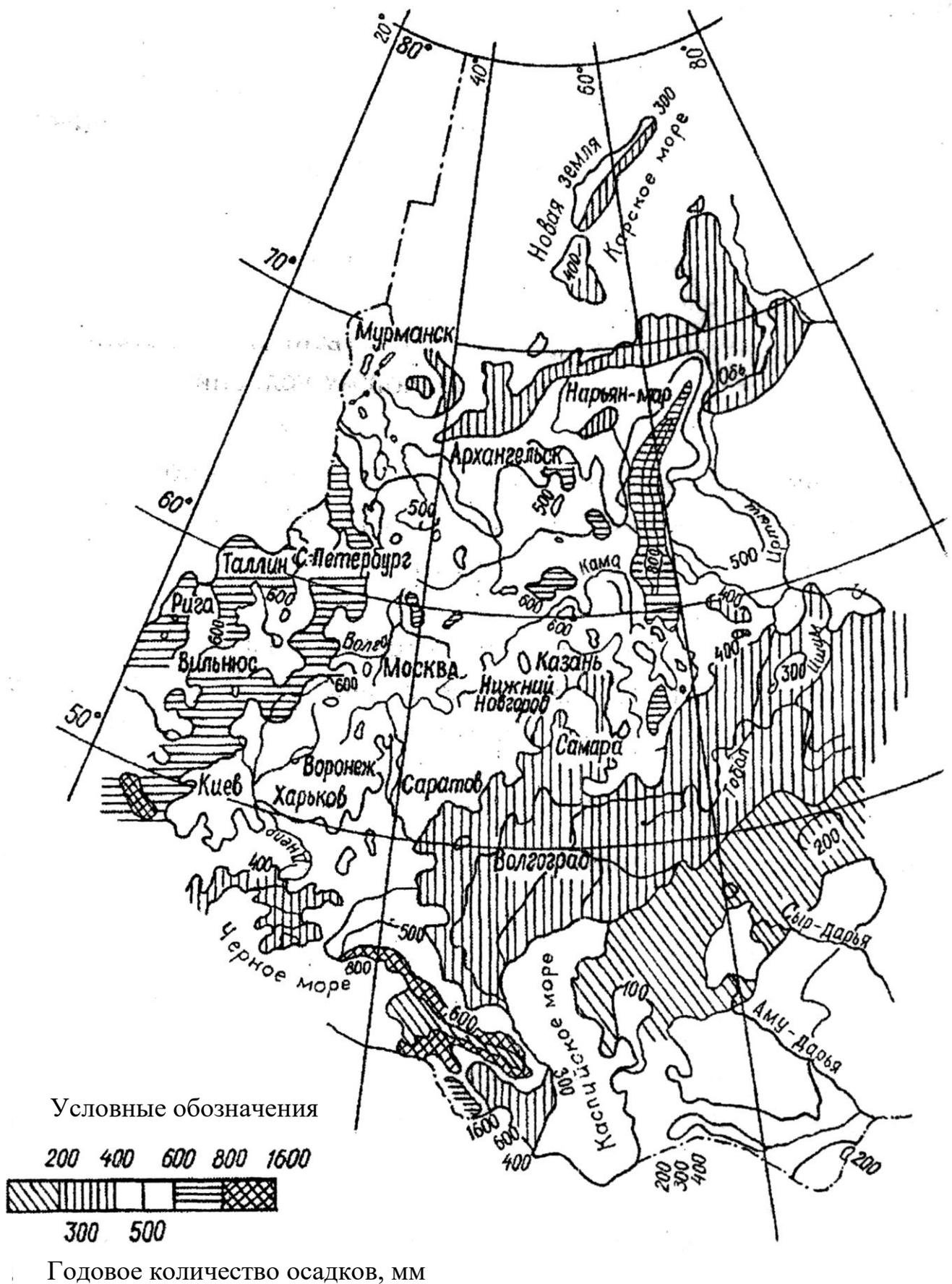


Рис. 3.2. Карта годового количества осадков на Европейской территории России

Задание 3.3

1. Составить таблицу вычисления средних квадратичных отклонений средних годовых расходов воды.
2. Установить связь между стоком в изучаемом бассейне и бассейне реки-аналога.
3. Определить норму стока в изучаемом бассейне, пользуясь уравнением регрессии.
4. Восстановить гидрологический ряд изучаемой реки путем дополнительного расчета значений расхода по годам.

Исходными данными для выполнения задания являются средние годовые расходы воды в изучаемом бассейне и бассейне реки-аналога за совместные годы наблюдений.

Порядок и пример выполнения работы

При составлении таблицы вычисления средних квадратических отклонений средних годовых расходов воды используются средние годовые расходы воды в изучаемом бассейне и бассейне реки-аналога только за совместные годы наблюдений. В данном примере необходимо привести к многолетнему периоду ряд среднегодовых расходов р. Аткара (*изучаемый бассейн*). В качестве пункта-аналога (реки-аналога) выбрана р. Медведица с длительным рядом наблюдений на гидропосту в р.п. Лысые Горы. Совместные наблюдения охватывают период с 1956 по 1968 гг., т.е. 12 лет.

Расчеты удобно вести в табличной форме (табл. 3.3).

В гр. 1 (табл. 3.3) вписываются годы параллельных наблюдений за стоком в сопоставляемых бассейнах. В гр.2 и 3 – соответственно средние годовые расходы воды изучаемой реки Q и реки-аналога Q_a .

Таблица 3.3

Вычисление средних квадратических отклонений средних годовых расходов воды (р. Аткара – р. Медведица)

Год	Средние годовые расходы воды, м ³ /с		ΔQ	ΔQ_a	ΔQ^2	ΔQ_a^2	$\Delta Q \Delta Q_a$	$\Delta Q + \Delta Q_a$	$(\Delta Q + \Delta Q_a)^2$
	Q, Аткара	Qa, Медведица							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1956	3,40	21,3	0,54	3	0,29	9	1,62	3,54	12,53
1957	4,59	25,4	1,73	7,1	2,99	50,4	12,28	8,83	17,96
1958	2,13	15,8	-0,73	-2,5	0,33	6,25	1,825	-3,23	10,43
1959	2,53	14,7	-0,32	-3,6	0,1	12,96	1,15	-3,92	15,37
1960	2,79	19,5	-0,07	1,2	0,005	1,44	-0,08	1,13	1,28
1961	3,92	22,6	1,06	4,3	1,12	18,49	4,56	5,36	28,7
1962	2,14	14,2	-0,72	-4,1	0,518	16,81	2,95	-4,82	23,23
1963	3,22	21,2	0,37	2,9	0,137	8,41	1,07	3,27	10,69
1964	4,1	25,9	1,24	7,6	1,54	57,76	9,42	8,84	78,15
1966	1,4	11,2	-1,46	-7,1	2,13	50,41	10,36	-8,56	73,27
1967	1,03	3,2	-1,78	-10,1	3,168	102,01	17,98	-11,88	141,13
1968	3	19,6	0,15	1,3	0,022	1,69	0,195	1,45	2,1

$$\sum_{i=1}^n Q = 34,3 \quad \sum_{i=1}^n Q_a = 219,6 \quad \sum \Delta Q = 0,01 \quad \sum \Delta Q_a = 0,00 \quad \sum \Delta Q^2 = 12,56 \quad \sum \Delta Q_a^2 = 335,63 \quad \sum \Delta Q \Delta Q_a = 63,33 \quad \sum (\Delta Q + \Delta Q_a) = 9,49 \quad \sum (\Delta Q + \Delta Q_a)^2 = 474,84$$

Подсчитав суммы гр. 2 и 3, используя выражение (3.2) определяют среднеарифметические значения расходов воды за исследуемый период изучаемого бассейна и бассейна реки-аналога с точностью до 0,01:

$$\bar{Q}' = 34,3/12 = 2,86 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$\bar{Q}_a' = 219,6/12 = 18,30 \text{ м}^3/\text{с}$$

В гр. 4 и 5 выражение (3.9) вычисляют отклонения расходов воды за каждый год от среднего с точностью до 0,01:

Сумма гр. 4 и 5 должна равняться нулю, т.е.

$$\sum \Delta Q = 0; \quad \sum \Delta Q_a = 0$$

Ошибка допускается не более 0,05.

Производят вычисления в гр. 6,7,8,9,10 с точностью до 0,01, затем находят суммы гр. 6 - $\sum (\Delta Q)^2$, гр.7 - $\sum (\Delta Q_a)^2$, гр.8 - $\sum (\Delta Q \Delta Q_a)$, гр.10 - $\sum (\Delta Q + \Delta Q_a)^2$.

Все вычисления проверяют по уравнению:

$$\sum \Delta Q^2 + 2 \sum (\Delta Q \Delta Q_a) + \sum \Delta Q_a^2 = \sum (\Delta Q + \Delta Q_a)^2. \quad (3.18)$$

В нашем случае $474,85 = 474,84$.

Расхождение не более 0,05, т.е. условие выполнено.

Пользуясь параллельными наблюдениями в обоих бассейнах, по выражению (3.10) определяют средние квадратические отклонения средних годовых расходов σ_Q и σ_{Qa} .

$$\sigma_Q = \sqrt{12,56/(12-1)} = 1,07 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$\sigma_{Qa} = \sqrt{335,63/(12-1)} = 5,52 \text{ м}^3/\text{с}.$$

По данным совместных наблюдений вычисляют коэффициент парной корреляции:

$$R = \sum(\Delta Q \Delta Q_a) / (n-1) \sigma_Q \sigma_{Q_a}. \quad (3.19)$$

Тогда $R = 63,33/(12-1) \cdot 1,07 \cdot 5,52 = 0,97$, что удовлетворяет условию $R_{KP} \geq 0,7$.

Так как коэффициент корреляции определяют за короткий ряд наблюдений, достоверность его значения устанавливают с помощью коэффициента достоверности:

$$K_D = R / \sigma_R \geq A_{KP}, \quad (3.20)$$

где $A_{KP} = 2,0$; σ_R – среднеквадратическое отклонение R , определяемое по уравнению 3.21:

$$\sigma_R = (1 - R^2) / \sqrt{n-1}; \quad (3.21)$$

$$\sigma_R = (1 - 0,97^2) / \sqrt{12-1} = 0,018$$

Тогда

$$K_D = 0,97/0,018 = 53,89$$

Как указывалось выше, коэффициент корреляции считается достоверным, если $K_D \geq 2,0$. Таким образом, в данном случае при $K_D = 53,89$ условие выполняется. Поскольку $R = 0,97 > 0,7$ и он достоверен, можно считать, что связь между годовыми стоками в рассматриваемых бассейнах достаточно тесная, следовательно, река-аналог выбрана правильно.

В дальнейшем расчете при определении гидрологических характеристик будем пользоваться уравнением регрессии при условии, что отношение

коэффициента регрессии к средней квадратической ошибке коэффициента регрессии

$$k / \sigma_k \geq B_{KP}, \quad (3.22)$$

где

$$k = R\sigma_Q / \sigma_{Q_a}, \quad (3.23)$$

$$k = 0,97 \cdot 1,068 / 5,52 = 0,187$$

$$\sigma_k = \sigma_Q / \sigma_{Q_a} \sqrt{1 - R/(n-1)}, \quad (3.24)$$

$$\sigma_k = 1,068 / 5,52 \sqrt{1 - 0,97/(12-1)} = 0,010$$

Отсюда $k/\sigma_k = 0,187/0,010 = 18,7$, т.е. $k/\sigma_k = 18,7 > 2,0$ что соответствует условию (3.22).

Приведение параметров кривых распределений ежегодных вероятностей превышения рассматриваемых среднегодовых расходов к многолетнему ряду осуществляется в двух вариантах:

а) Среднее многолетнее значение расходов воды \bar{Q} определяется уравнением регрессии:

$$\bar{Q} = \bar{Q}' + R(\sigma_Q / \sigma_{Q_a})(\bar{Q}_a - \bar{Q}_a'), \quad (3.25)$$

где \bar{Q} - норма стока изучаемой реки за удлиненный период до N лет; \bar{Q}' и \bar{Q}_a' - средние годовые расходы в изучаемом бассейне и бассейне реки-аналога за совместный период наблюдений; \bar{Q}_a - норма стока реки-аналога за многолетний период (N лет).

Подставляя в выражение (3.25) известные значения, получают

$$\bar{Q} = 2,86 + 0,97 \cdot 0,19 \cdot (18,55 - 18,3) = 2,90 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Коэффициент вариации определяют по формуле:

$$C_v = \sigma_{\bar{Q}} / \left[\bar{Q}' \sqrt{1 - R^2 (1 - \sigma_{Q_a'}^2 / \sigma_{Q_a}^2)} \right], \quad (3.26)$$

где $\sigma_{\bar{Q}_a}$ - среднее квадратичное отклонение средних годовых расходов воды реки-аналога за многолетний период (расчетное значение следует принимать из п.3.2). Тогда

$$C_v = 1,068 / \left[2,86 \sqrt{1 - 0,941(1 - 5,52^2 / 7,42^2)} \right] = 0,49$$

Приведение рассматриваемой гидрологической характеристики производится в случаях, когда средняя квадратическая ошибка расчетного значения гидрологической характеристики не превышает 10%.

Относительную среднюю квадратичную ошибку приведенного среднего многолетнего значения годового стока (%) вычисляют по уравнению:

$$\varepsilon_{\bar{Q}} = \left[100 \sigma_{\bar{Q}} / \bar{Q} \sqrt{n} \right] \sqrt{1 + R^2 [(n/N) \cdot (\sigma_{\bar{Q}_a}^2 / \sigma_{\bar{Q}_a}^2) - 1]}. \quad (3.27)$$

$$\varepsilon_{\bar{Q}} = \left[100 \cdot 1,07 / 2,9 \sqrt{12} \right] \sqrt{1 + 0,97^2 [(12/69) \cdot (7,42^2 / 5,52^2) - 1]} = 6,3\% < 10\% .$$

Условие выполняется, можно приводить расходы воды к многолетнему периоду.

б) Приведение расходов воды к многолетнему периоду осуществляется по значениям расходов воды, восстановленным по годам с помощью уравнения регрессии. С помощью уравнения регрессии удлиняется ряд среднегодовых расходов воды в изучаемом бассейне:

$$Q_i - \bar{Q}' = R(\sigma_{\bar{Q}} / \sigma_{\bar{Q}_a})(Q_{ai} - \bar{Q}_a'), \quad (3.28)$$

где Q_{ai} - средние годовые расходы воды в бассейне реки-аналога в годы, не вошедшие в совместный период наблюдений.

Для этого в уравнении подставляют последовательно средние годовые расходы воды реки-аналога за каждый год и находят соответственно средние годовые расходы воды изучаемой реки.

Удлиняется ряд за счет расходов, не вошедших в годы параллельных наблюдений (в нашем примере это будут расходы с 1936 по 1955, 1965, и с 1969 по 2004 г.). А уравнение примет следующий вид:

$$Q = R(\sigma_{\bar{Q}} / \sigma_{\bar{Q}_a})(Q_{ai} - \bar{Q}_a') + \bar{Q}', \quad (3.29)$$

$$Q_1 = 0,97(1,068 / 5,52) \cdot (9,43 - 18,55) + 2,86 = 1,15 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$\begin{aligned}
Q_2 &= 0,188(11,4-18,55) + 2,86 = 1,52 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_3 &= 0,188(12,2-18,55) + 2,858 = 1,41 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_4 &= 0,188(10,8-18,55) + 2,858 = 1,40 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_5 &= 0,188(15,7-18,55) + 2,86 = 2,32 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_6 &= 0,188(29,8-18,55) + 2,86 = 4,98 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_7 &= 0,188(31,4-18,55) + 2,86 = 5,28 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_8 &= 0,188(9,04-18,55) + 2,86 = 1,08 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_9 &= 0,188(17,9-18,55) + 2,86 = 2,74 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{10} &= 0,188(10,5-18,55) + 2,86 = 1,35 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{11} &= 0,188(32,6-18,55) + 2,86 = 5,50 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{12} &= 0,188(20,7-18,55) + 2,86 = 3,26 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{13} &= 0,188(33,6-18,55) + 2,86 = 5,69 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{14} &= 0,188(16,0-18,55) + 2,86 = 2,38 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{15} &= 0,188(11,5-18,55) + 2,86 = 1,53 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{16} &= 0,188(20,4-18,55) + 2,86 = 3,21 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{17} &= 0,188(10,3-18,55) + 2,86 = 1,31 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{18} &= 0,188(19,5-18,55) + 2,86 = 3,04 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{19} &= 0,188(5,49-18,55) + 2,86 = 0,40 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{20} &= 0,188(34,8-18,55) + 2,86 = 5,92 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{21} &= 0,188(21,6-18,55) + 2,86 = 3,43 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{22} &= 0,188(7,39-18,55) + 2,86 = 0,76 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{23} &= 0,188(26,8-18,55) + 2,86 = 4,41 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{24} &= 0,188(16,3-18,55) + 2,86 = 2,44 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{25} &= 0,188(8,16-18,55) + 2,86 = 0,91 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{26} &= 0,188(13,3-18,55) + 2,86 = 1,87 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{27} &= 0,188(17,3-18,55) + 2,86 = 2,63 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{28} &= 0,188(9,1-18,55) + 2,86 = 1,08 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{29} &= 0,188(14,5-18,55) + 2,86 = 2,09 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{30} &= 0,188(28,2-18,55) + 2,86 = 4,67 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{31} &= 0,188(19,9-18,55) + 2,86 = 3,11 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{32} &= 0,188(30,9-18,55) + 2,86 = 5,18 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{33} &= 0,188(18,7-18,55) + 2,86 = 2,89 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{34} &= 0,188(23,8-18,55) + 2,86 = 3,85 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{35} &= 0,188(18,8-18,55) + 2,86 = 2,91 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{36} &= 0,188(14,1-18,55) + 2,86 = 2,01 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{37} &= 0,188(8,25-18,55) + 2,86 = 0,92 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{38} &= 0,188(21,2-18,55) + 2,86 = 3,36 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{39} &= 0,188(19,9-18,55) + 2,86 = 3,11 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{40} &= 0,188(20,3-18,55) + 2,86 = 3,19 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{41} &= 0,188(17,7-18,55) + 2,86 = 2,70 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{42} &= 0,188(12,3-18,55) + 2,86 = 1,69 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{43} &= 0,188(28,1-18,55) + 2,86 = 4,66 \text{ m}^3/\text{c}; \\
Q_{44} &= 0,188(26,1-18,55) + 2,86 = 4,28 \text{ m}^3/\text{c};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_{45} &= 0,188(14,6-18,55)+2,86=2,12 \text{ м}^3/\text{с}; \\
Q_{46} &= 0,188(22,2-18,55)+2,86=3,54 \text{ м}^3/\text{с}; \\
Q_{47} &= 0,188(37,3-18,55)+2,86=6,39 \text{ м}^3/\text{с}; \\
Q_{48} &= 0,188(14,9-18,55)+2,86=2,17 \text{ м}^3/\text{с}; \\
Q_{49} &= 0,188(19,8-18,55)+2,86=3,10 \text{ м}^3/\text{с}; \\
Q_{50} &= 0,188(21,8-18,55)+2,86=3,47 \text{ м}^3/\text{с}; \\
Q_{51} &= 0,188(26,6-18,55)+2,86=4,37 \text{ м}^3/\text{с}; \\
Q_{52} &= 0,188(16,9-18,55)+2,86=2,55 \text{ м}^3/\text{с}; \\
Q_{53} &= 0,188(26,4-18,55)+2,86=4,34 \text{ м}^3/\text{с}; \\
Q_{54} &= 0,188(22,5-18,55)+2,86=3,60 \text{ м}^3/\text{с}; \\
Q_{55} &= 0,188(16,7-18,55)+2,86=2,51 \text{ м}^3/\text{с}; \\
Q_{56} &= 0,188(27,8-18,55)+2,86=4,60 \text{ м}^3/\text{с}; \\
Q_{57} &= 0,188(26,4-18,55)+2,86=4,34 \text{ м}^3/\text{с};
\end{aligned}$$

Отсюда сумма удлиненного ряда: $\sum_1^{57} Q = 170,92 \text{ м}^3/\text{с}$. Сумма за совместные годы наблюдений: $\sum_1^{12} Q = 34,3 \text{ м}^3/\text{с}$.

С помощью удлиненного ряда находят норму стока изучаемой реки за многолетний период:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_1^{69} Q_i}{n} = \frac{205,22}{69} = 2,97 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3.4. Определение расчетных характеристик речного стока

При проектировании водохозяйственных объектов необходимо знать возможные значения характеристик речного стока в период будущей эксплуатации этих объектов. Из-за многофакторной природы стокообразующих процессов оценку и прогноз характеристик стока принято давать в вероятностной форме без указания конкретных календарных сроков их появления. Практически эти задачи решают с помощью кривых распределения вероятностей и кривых обеспеченности. При этом под *обеспеченностью числового значения гидрологической характеристики* понимают *ежегодную вероятность превышения этого значения*.

В инженерной практике широкое применение получили эмпирические и аналитические кривые обеспеченности.

Эмпирическую кривую обеспеченности строят по данным фактических наблюдений путем статистической обработки гидрологического ряда с использованием формулы:

$$P_m = m \cdot 100 / (n + 1), \quad (3.30)$$

где m - порядковый номер члена ранжированного ряда гидрологической характеристики; n - общее число членов ряда.

Эмпирические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения строятся на клетчатках вероятностей. Тип клетчатки вероятностей выбирается в соответствии с принятой аналитической функцией распределения вероятностей и полученного отношения коэффициента асимметрии C_s к коэффициенту вариации C_v . Наиболее часто применяется клетчатка вероятностей нормального закона распределения, на которой кривые обеспеченности нормального закона представляются в виде прямых линий. Эта клетчатка в технической литературе по гидрологии, как правило, называется клетчатка вероятностей для кривых распределения с умеренной асимметричностью. При положительной асимметрии на этой клетчатке эмпирические и аналитические кривые обеспеченности имеют вогнутую форму, при отрицательной – выпуклую, а при отсутствии асимметрии – представляют собой прямые линии.

Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых распределения ежегодных вероятностей превышения (кривых обеспеченностей), как правило, применяются трехпараметрические распределения: Крицкого-Менкеля при любом отношении C_s/C_v (Приложение 4), распределение Пирсона III типа (биномиальная кривая) при $C_s/C_v \geq 2$ (Приложение 5), лог-нормальное распределение при $C_s \geq 3C_v + C_v^3$ и другие распределения, имеющие предел простираения случайной переменной от нуля, или положительного значения, до бесконечности.

Оценки параметров аналитических кривых распределения: среднее многолетнее значение \bar{Q} , коэффициент вариации C_v и отношение коэффици-

ента асимметрии к коэффициенту вариации C_v/C_v , устанавливаются по рядам наблюдений за рассматриваемой гидрологической характеристикой методом приближенно *наибольшего правдоподобия*, *методом моментов*, а также *графоаналитическим методом*.

Несомненным достоинством метода *наибольшего правдоподобия* является удобство при выполнении практических расчетов. Однако данный метод применяют только для трехпараметрического гамма-распределения, использование других типов распределения при этом методе неправомерно.

Метод *моментов* применим как для трехпараметрического, так и для биномиального закона распределения.

Графоаналитический метод определения параметров теоретической кривой обеспеченности применим для биномиального закона распределения. Он менее трудоемкий, чем метод наибольшего правдоподобия и метод моментов. Преимуществом его является также отсутствие необходимости подбора такого неустойчивого параметра, как коэффициент асимметрии C_s . В то же время, точность параметров, установленных этим методом, зависит от обоснованности, с которой снимаются значения в трех опорных точках эмпирической кривой, что, как и экстраполяция кривых обеспеченности, не лишено элемента субъективизма.

Коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s только для трехпараметрического гамма - распределения С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля можно определять методом приближенно *наибольшего правдоподобия* в зависимости от статистик λ_2 и λ_3 , вычисляемых по формулам:

$$\lambda_2 = \left(\sum_{i=1}^n \lg k_i \right) / (n-1), \quad (3.31)$$

$$\lambda_3 = \left(\sum_{i=1}^n k_i \lg k_i \right) / (n-1), \quad (3.32)$$

где k - модульный коэффициент рассматриваемой гидрологической ха-

рактеристики, определяемый по выражению (3.1).

По полученным значениям статистик λ_2 и λ_3 определяют коэффициенты вариации и асимметрии по специальным таблицам и номограммам (приложение 1).

При применении *метода моментов* для определения коэффициента вариации C_v используют выражение (3.6), а коэффициента асимметрии C_s следующую формулу:

$$\tilde{C}_s = \left[n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3 \right] / [\tilde{C}_v^3 (n-1)(n-2)] \quad (3.33)$$

Параметры *биномиального распределения графоаналитическим методом* определяются по формулам:

$$S = (Q_{5\%} + Q_{95\%} - 2Q_{50\%}) / (Q_{5\%} - Q_{95\%}), \quad (3.34)$$

$$\sigma = (Q_{5\%} - Q_{95\%}) / (\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}), \quad (3.35)$$

$$\bar{Q} = Q_{50\%} - \Phi_{50\%} \sigma, \quad (3.36)$$

где $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{95\%}$ - значения расходов воды вероятностью превышения соответственно 5%, 50%, 95%, установленные по сглаженной эмпирической кривой распределения; $\Phi_{5\%}$, $\Phi_{50\%}$, $\Phi_{95\%}$ - нормированные ординаты биномиальной кривой распределения, соответствующие вычисленному значению коэффициента *скошенности* S . Значение коэффициента асимметрии определяется по функциональной зависимости от коэффициента S для полного и усеченного распределения (приложение 5).

Для наибольшего или наименьшего членов ряда наблюдений следует указывать доверительные интервалы эмпирической ежегодной вероятности превышения (табл.3.4).

Если точки эмпирической кривой распределения значительно отклоняются от аналитической кривой, рекомендуется на клетчатке вероятностей превышения для этих точек также указывать доверительные границы и оценивать их однородность.

Таблица 3.4

Доверительные интервалы для эмпирической вероятности превышения

Вероятность доверительного интервала, %	Число лет наблюдений, n											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<i>Для наибольшего члена ряда наблюдений</i>												
5	0.5	0.27	0.20	0.15	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03
95	25.9	13.4	9.8	7.7	6.0	5.0	4.3	3.7	3.3	3.0	2.0	1.6
<i>Для наименьшего члена ряда наблюдений</i>												
5	74.1	87.0	90.0	92.2	94.0	95.0	95.7	96.3	96.7	97.0	97.8	98.5
95	99.50	99.72	99.81	99.86	99.90	99.91	99.92	99.93	99.94	99.95	99.96	99.97

Задание 3.4

1. Вычислить параметры аналитической кривой обеспеченности следующими методами:

- а) моментов;
- б) наибольшего правдоподобия;
- в) графоаналитическим.

2. Определить ординаты аналитической кривой обеспеченности трехпараметрического гамма-распределения.

3. Определить ординаты аналитической биномиальной кривой обеспеченности.

4. Определить параметры эмпирической кривой обеспеченности.

5. На клетчатке вероятностей построить аналитическую кривую, сопоставив ее с эмпирической кривой.

Исходными данными к выполнению задания является ряд среднегодовых расходов воды изучаемой реки.

Порядок и пример выполнения работы

Параметры эмпирической кривой обеспеченности вычисляют в таблице 3.5. Среднегодовые расходы Q_i (р. Медведица, р.п. Лысье Горы) из таблицы 3.1 располагают в убывающем порядке в гр.2, соответственно им в гр.1 записывают годы. В гр.3 и 4 вписывают в порядке убывания значения модульных коэффициентов k и $(k-1)$ из гр. 6 и 7 таблицы 3.1.

Таблица 3.5

Вычисление эмпирической обеспеченности среднегодовых расходов
р. Медведица (р.п. Лысье Горы)

№ п.п.	Год	Ср. год. расход Q_i , м ³ /с	k	$k-1$	$(k-1)^2$	$(k-1)^3$	$\lg k$	$k \lg k$	$P_m = m \cdot 100 / (n+1), \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1994	37,3	1,951	0,951	0,904	0,860	0,290	0,566	1,43
2	1955	34,8	1,820	0,820	0,672	0,551	0,260	0,473	2,86
3	1948	33,6	1,758	0,758	0,575	0,436	0,245	0,431	4,29
.....
.....
66	1967	8,2	0,429	-0,571	0,326	-0,186	-0,368	-0,158	94,29
67	1972	8,16	0,427	-0,573	0,328	-0,188	-0,370	-0,158	95,71
68	1969	7,39	0,387	-0,613	0,376	-0,230	-0,412	-0,159	97,14
69	1954	5,49	0,287	-0,713	0,508	-0,362	-0,542	-0,156	98,57

$$\bar{Q} = 19,12 \text{ м}^3/\text{с} \quad \sum(k-1)^2 = 10,248; \quad \sum(k-1)^3 = 1,309 \quad \sum \lg k = -2,458; \quad \sum k \lg k = 2,267$$

Возведя каждое отклонение $(k-1)$ в квадрат (гр. 5 табл.3.5) и найдя их сумму, определяют коэффициент вариации годового стока методом моментов, т.е.

$$C_v = \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2 / (n - 1)} = \sqrt{10,248 / 68} = 0,39$$

Коэффициент асимметрии по выражению (3.33):

$$\tilde{C}_s = \left[n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3 \right] / \left[\tilde{C}_v^3 (n-1)(n-2) \right] = 69 \cdot 1,309 / 0,39^3 \cdot 68 \cdot 67 = 0,334$$

$$C_s / C_v = 0,334 / 0,39 = 0,86$$

Для каждого члена статического ряда Q_i вычисляют эмпирическую ежегодную вероятность превышения по формуле (3.30) (см. гр. 10 табл. 3.5).

Средние годовые расходы Q_i и соответствующие им значения обеспеченности стока (P_m) наносят на график и на нем проводят осредненную эмпирическую кривую обеспеченности среднегодовых расходов воды р. Медведицы (рис. 3.3).

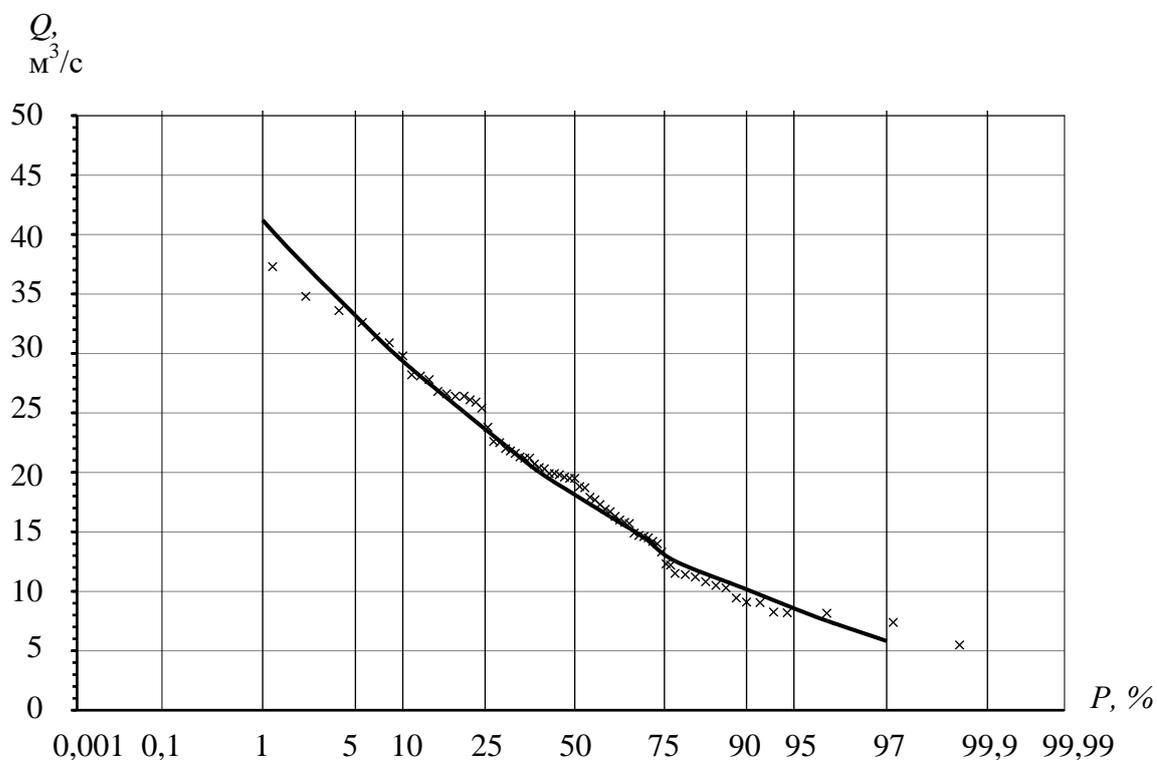


Рис. 3.3. Эмпирическая кривая обеспеченности среднегодовых расходов воды р. Медведицы

Подсчитывают среднеквадратические ошибки параметров:

$$\varepsilon_{\bar{Q}} = C_v \cdot 100\% / \sqrt{n} = 0,39 \cdot 100\% / \sqrt{69} = 4,69 \%$$

$$\varepsilon_{C_v} = [1/(n + 4C_v^2)] \sqrt{[n(1 + C_v^2)/2]} \cdot 100\% = [1/(69 + 4 \cdot 0,39^2)] \sqrt{[69(1 + 0,39^2)/2]} \cdot 100\% = 9,1\%$$

$$\varepsilon_{C_s} = (1/C_s) \sqrt{(6/n)(1 + C_v^2)} \cdot 100\% = (1/0,334) \sqrt{(6/69)(1 + 0,39^2)} \cdot 100\% = 94,6\%$$

Ошибки определения \bar{Q} и C_v вполне допустимы. Поэтому полученные численные значения этих параметров можно принять для построения аналитической кривой обеспеченности. Ошибка C_s велика, и для окончательного установления этого параметра необходимо полученное значение C_s/C_v сопоставить с данными по другим рекам-аналогам с продолжительными рядами наблюдений и в качестве расчетного принять среднее значение этого отношения.

Для определения коэффициентов C_v и C_s методом *наибольшего правдоподобия* находят логарифмы модульных коэффициентов (гр.6 табл. 3.5) и произведение модульных коэффициентов на их логарифмы (гр.7), подсчитывают их алгебраические суммы и вычисляют статистики λ_2 и λ_3 по формулам (3.31) и (3.32):

$$\lambda_2 = -2,458/(69 - 1) = -0,036;$$

$$\lambda_3 = 2,267/(69 - 1) = 0,033$$

По таблице или номограмме (прил.3) для соответствующих значений λ_2 (по оси ординат) и λ_3 (по оси абсцисс) в точке их пересечения определяют C_v и C_s/C_v .

$$C_v = 0,386 \approx 0,39; C_s / C_v = 1$$

$$\text{Откуда } C_s = 1 \cdot 0,39 = 0,39$$

Как видно, параметры аналитической кривой обеспеченности, подсчитанные методами моментов и наибольшего правдоподобия, практически одинаковы. Это говорит о правильности вычисления C_s . Принимая во внимание данные рек-аналогов приходим к выводу о том, что в качестве расчетных для построения аналитической кривой обеспеченности среднегодовых расходов р. Медведица в р.п. Лысые Горы следует принять такие параметры: $\bar{Q} = 19,12 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v = 0,39$, $C_s / C_v = 1$.

Определение ординат аналитической кривой обеспеченности, производится с использованием таблиц ординат кривых трехпараметрического гамма-распределения (см. приложение 4). По таблице с соотношением $C_s / C_v = 1$ для значений P от 0,01 до 99,9 % находят модульные коэффициенты $K_{P\%}$ при $C_v = 0,39$. Ординаты кривой обеспеченности определяют по формуле:

$$Q_{P\%} = K_{P\%} \bar{Q} \quad (3.37)$$

Расчеты удобно вести в табличной форме (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Вычисление ординат аналитической кривой трехпараметрического гамма-распределения

$P, \%$	0,01	0,1	1	5	10	20	30	40
$K_{P\%}$	2,66	2,36	2,00	1,68	1,53	1,33	1,19	1,08
$Q_{P\%}, \text{м}^3/\text{с}$	48,37	45,12	38,24	32,12	29,25	25,43	22,75	20,65
$P, \%$	50	60	70	80	90	95	97	99
$K_{P\%}$	0,973	0,874	0,771	0,657	0,512	0,406	0,344	0,244
$Q_{P\%}, \text{м}^3/\text{с}$	18,60	16,71	14,74	12,56	9,79	7,76	6,58	4,67

По этим данным на клетчатке вероятностей строят аналитическую кривую обеспеченности среднегодовых расходов воды р. Медведица (рис. 3.4, кривая 1) и сопоставляют ее с эмпирической кривой по данным таблицы 3.5 гр. 3 и 10.

По таблице 3.4 определяют доверительные интервалы для эмпирической ежегодной вероятности превышения наибольшего ($Q_1 = 37,3 \text{ м}^3/\text{с}$) и наименьшего ($Q_1 = 5,49 \text{ м}^3/\text{с}$) членов ряда наблюдений:

$$0,08 \leq P_1 = 1,43\% \leq 4,4 \%;$$

$$95,6 \leq P_{69} = 98,57\% \leq 99,92 \%$$

Нанесенные на клетчатку вероятностей (см. рис. 3.4) доверительные интервалы показывают, что аналитическая кривая на своих концевых участках не противоречит данным наблюдений. В средней своей части, по данным визуального анализа, аналитическая кривая также соответствует эмпирическим данным.

Для построения аналитической *биномиальной кривой* параметры \bar{Q}, C_v, C_s определяют графоаналитическим методом, используя для этого сглаженную эмпирическую кривую обеспеченности (рис. 3.3). С эмпирической кривой снимают три опорные ординаты $Q_{5\%} = 33,1 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_{50\%} = 18,2 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_{95\%} = 8,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Вычисляют коэффициент скошенности:

$$S = (Q_{5\%} + Q_{95\%} - 2Q_{50\%}) / (Q_{5\%} - Q_{95\%}) = (33,1 + 8,5 - 2 \cdot 18,2) / (33,1 - 8,5) = 0,21$$

Согласно приложению 5 этому значению S соответствует $C_s = 0,75$, по которому находят нормированные отклонения при соответствующих обеспеченностях $\Phi_{5\%} = 1,83$; $\Phi_{50\%} = -0,12$; $\Phi_{95\%} = -1,40$. Затем последовательно вычисляют параметры $\sigma_{\bar{Q}}$, \bar{Q} и C_v :

$$\sigma_{\bar{Q}} = (Q_{5\%} - Q_{95\%}) / (\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}) = (33,1 - 8,5) / (1,83 - (-1,40)) = 7,62 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$\bar{Q} = Q_{50\%} - \Phi_{50\%} \sigma_{\bar{Q}} = 18,2 - (-0,12) \cdot 7,62 = 19,11 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$C_v = \sigma_{\bar{Q}} / \bar{Q} = 7,62 / 19,11 = 0,40.$$

Таким образом, по параметрам $\bar{Q} = 19,11 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_v = 0,40$ и $C_s = 0,75$ биномиальной кривой обеспеченности, вычисленным графоаналитическим методом, рассчитывают ординаты аналитической биномиальной кривой обеспеченности, при этом значение $\Phi_{P\%}$ определяют по приложению 5 в зависимости от $P\%$ при принятом параметре $C_s = 0,75$. Расчеты ведут по форме таблицы 3.7.

По полученным данным строят биномиальную кривую обеспеченности (см. рис. 3.4, кривая 2).

Сопоставляя совмещенные кривые, видим, что биномиальная кривая обеспеченности в верхней части проходит немного выше эмпирических точек; в средней и нижней частях части обе кривые практически совпадают. Кривая 1 и кривая 2 входят в доверительные интервалы. Это говорит о том, что обе кривые объективно описывают распределение среднегодовых расходов. Однако, в силу отрыва биномиальной кривой от эмпирических значений в верхней ее части, расчетный годовой сток низких обеспеченностей будет несколько завышен. Поэтому расчетные годовые расходы р. Медведица, соответствующие 0,01, 0,1 и 1%-й обеспеченности (*многоводные годы*) следует определять используя трехпараметрическую кривую гамма-распределения.

Таблица 3.7

Вычисление ординат биномиальной кривой обеспеченности

Обеспеченность $P, \%$	Повторяемость 1 раз в N лет	Характеристики года	$\Phi_{P\%}$	$\Phi_{P\%} C_V$	$k_{P\%} = \Phi_{P\%} C_V + 1$	$Q_{P\%} = k_{P\%} \bar{Q}$
1	2	3	4	5	6	7
0,01	10000	Катастрофически многоводный	5,39	2,156	3,156	60,343
0,1	1000	Катастрофически многоводный	4,17	1,668	2,668	51,012
1	100	Очень многоводный	2,86	1,144	2,144	40,993
5	20	Многоводный	1,83	0,732	1,732	33,116
10	10	Средне многоводный	1,34	0,536	1,536	29,368
25	4	Верхний квадрилианный	0,58	0,232	1,232	23,556
50	2	Медианный	-0,12	-0,048	0,952	18,202
75	4	Нижний квадрилианный	-0,72	-0,288	0,712	13,613
90	10	Средне маловодный	-1,18	-0,472	0,528	10,095
95	20	Маловодный	-1,40	-0,56	0,44	8,413
99	100	Очень маловодный	-1,78	-0,712	0,288	5,507
99,9	1000	Катастрофически маловодный	-2,08	-0,832	0,168	3,212

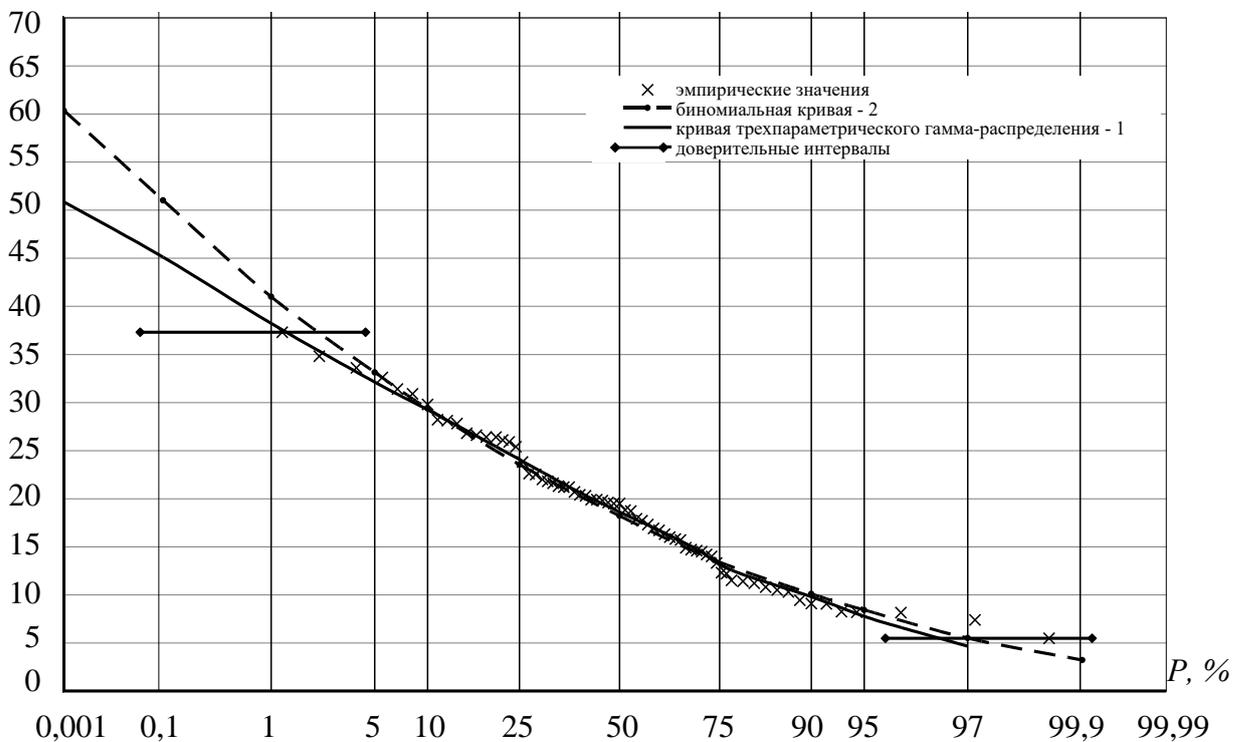
 $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ 

Рис. 3.4. Кривые обеспеченности среднегодовых расходов воды р. Медведица в р.п. Лысые Горы

3.5. Определение расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений

При отсутствии данных гидрометрических наблюдений величины среднего многолетнего стока и коэффициента вариации определяются интерполяцией между значениями, получаемыми для рек-аналогов по данным наиболее продолжительных рядов гидрометрических наблюдений в рассматриваемом районе с учетом влияния местных факторов (наличия карста, выходов подземных вод, особенностей геологического строения бассейна, характера почв (грунтов), промерзания и пересыхания рек, различий средних высот водосборов и др.).

Для расчета стока этим методом на топографическую карту наносят значения среднего многолетнего стока или коэффициентов вариации в центре тяжести водосборов. Местоположение центра тяжести водосборов, расположенных вблизи расчетного пункта, устанавливается приближенно.

Среднее многолетнее значение стока для расчетного пункта на равнинной территории или на территории с незначительно меняющимся рельефом определяется прямолинейной интерполяцией по карте между изолиниями стока для центра водосбора. Если изолиния стока совпадает с центром водосбора или расчетным пунктом, то она принимается за среднее многолетнее значение стока.

В случае пересечения водосбора несколькими изолиниями вычисляется средневзвешенное значение стока по формуле:

$$\bar{q} = (q_1 F_1 + q_2 F_2 + \dots + q_n F_n) / F, \quad (3.38)$$

где q_1, q_2, q_n – среднее значение стока между соседними изолиниями, пересекающими водосбор; F_1, F_2, F_n – соответствующие площади между изолиниями; F – общая площадь водосбора до замыкающего створа.

Значение стока, полученное по карте, принимается для малых водотоков с учетом поправочных коэффициентов на неполное дренирование реками подземных вод или потери стока на испарение с поверхности водосборов (табл. 3.8).

Поправочные коэффициенты к значениям среднего многолетнего стока, полученным по карте

Район	Площадь водосбора, км ²														
	0,01	0,1	1,0	3	5	10	20	30	50	100	200	500	1000	2000	3000
1. Северо-запад и север европейской территории СНГ	0,66	0,76	0,87	0,93	0,96	1,0									
2. Центральные районы европейской территории СНГ			0,48	0,58	0,67	0,78	0,95	1,0							
3. Приазовье, Прикаспийская, Арало-Каспийская низменности			0,56	0,68	0,71	0,77	0,84	0,87	0,90	1,0					
4. Юг Украины, Донской район						2,0	1,8	1,6	1,5	1,2	1,0				
5. Юг Западной Сибири и Казахстан						4,1	3,5	3,2	2,8	2,4	1,9	1,5	1,2	1,1	1,0
6. Пустынные районы Арало-Каспийской низменности (наклонные глинистые районы)									3,6	2,9	1,0				
Пустынные районы Арало-Каспийской низменности (плоские равнины)						2,0	1,9	1,8	1,0						

Коэффициент вариации годового стока C_v вычисляют по формуле:

$$C_v = A / \bar{q}^{0,4} (F + 1000)^{0,1}, \quad (3.39)$$

где A – параметр, определяемый по данным рек-аналогов, л/с;

$$A = C_v \bar{q}^{0,4} (F + 1000)^{0,1}, \quad (3.40)$$

где значения C_v и \bar{q} реки-аналога берут из п.3.2.

Задание 3.5

1. Определить норму годового стока р. Аткары в районе г. Аткарска (приток р. Медведицы).
2. Вычислить коэффициенты вариации C_v и асимметрии C_s изучаемой реки.

Исходными данными являются: выкопировка из схемы расположения постов; карта среднего многолетнего стока (рис. 3.5); сведения о средних многолетних модулях годового стока рек-аналогов.

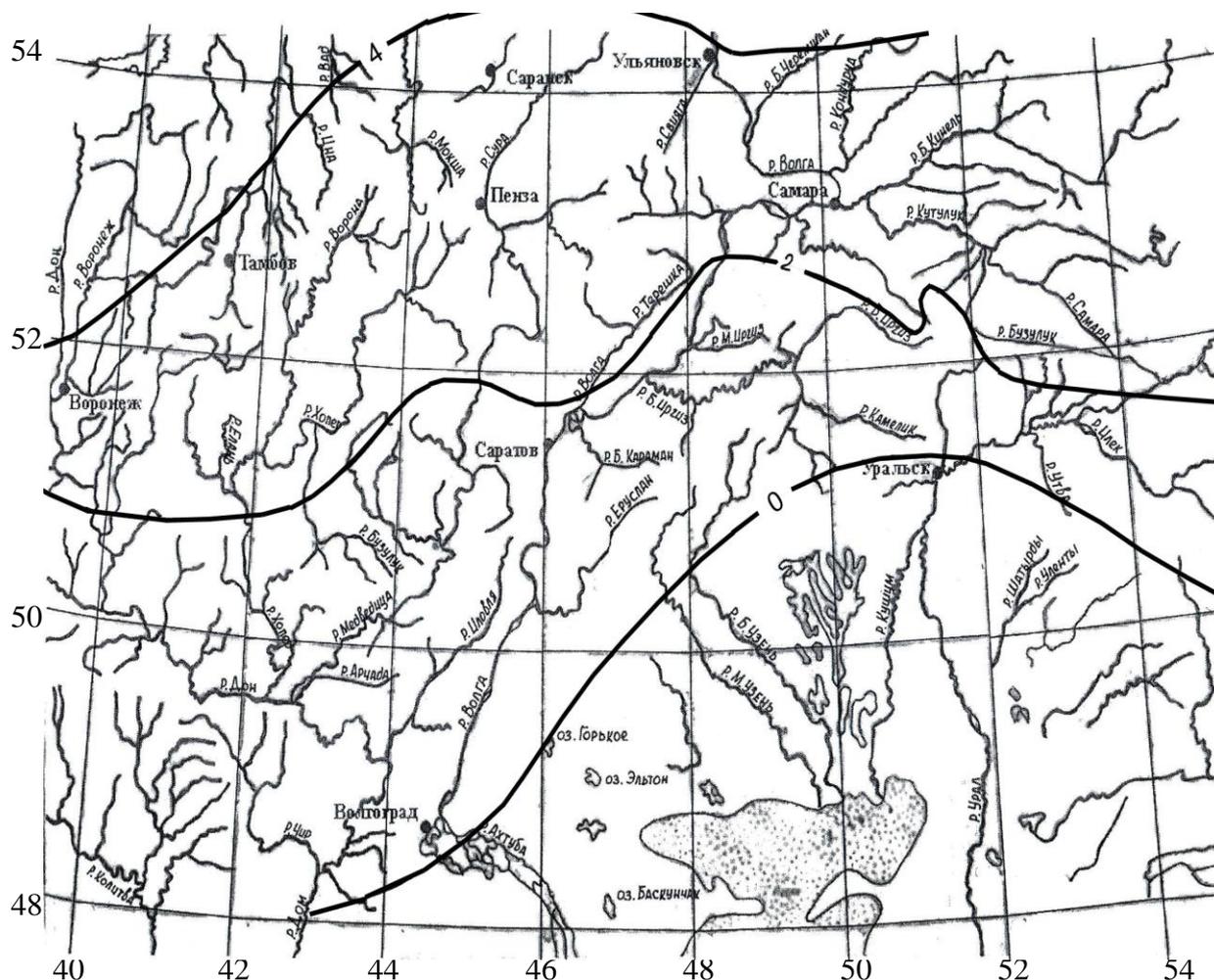


Рис. 3.5. Карта среднемноголетнего годового стока рек

Порядок и пример выполнения работы

Находят бассейны-аналоги, расположенные вблизи изучаемого бассейна, по которым имеются многолетние наблюдения за стоком. Площади бассейнов изучаемой реки и реки-аналога должны различаться не более чем в 10 раз. Так, для исследуемого бассейна р. Аткары (г. Аткарск) $F = 1030 \text{ км}^2$, для реки-аналога – р. Медведица (р.п. Лысье Горы) $F = 7610 \text{ км}^2$.

Бассейн изучаемой реки и бассейн реки-аналога расположены на равнинной территории, поэтому применяют линейную интерполяцию. Для этого на выкопировку карты-схемы наносят водораздельные линии изучаемого

бассейна и бассейна реки-аналога до гидрометрических створов (рис. 3.6). Затем находят центры тяжести бассейнов путем проведения взаимно перпендикулярных медиан, делящих бассейны на две равновеликие части в месте их пересечения. Накладывают карту среднего многолетнего стока на схему расположения бассейнов и выносят на нее соответствующие изолинии годового стока. Выполнив линейную интерполяцию между изолиниями модулей стока (измерив расстояние между модулями и от них до центров тяжести бассейнов), получают модули стока для исследуемых бассейнов.

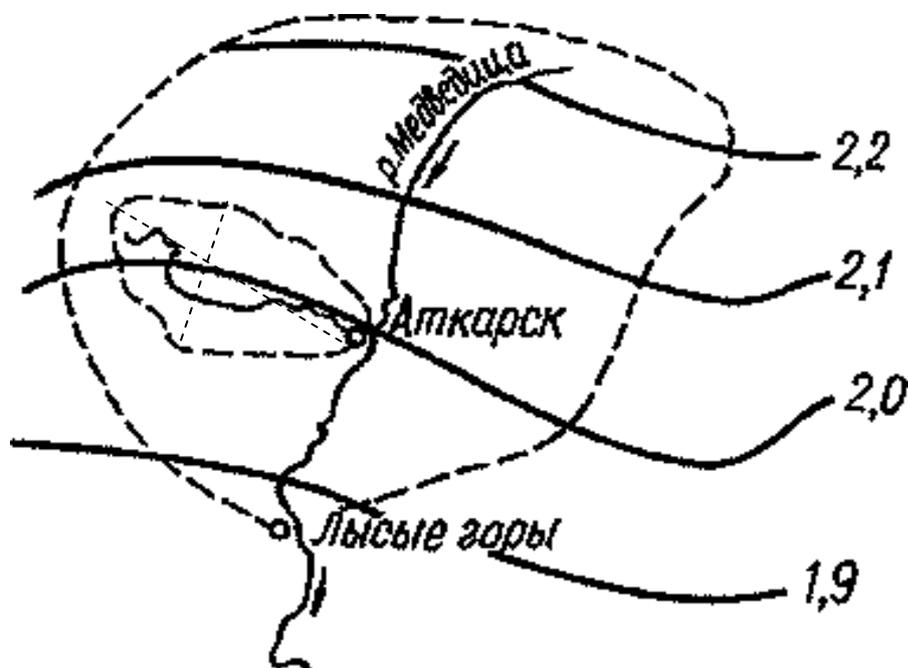


Рис. 3.6. Карта-схема модулей годового стока, \bar{q} , л/с·км²

В нашем примере изолиния годового стока (2 л/с·км²) непосредственно проходит по центру тяжести водосбора р. Аткары (г. Аткарск) и является ее истинной величиной.

Норма годового стока в виде расходов воды равна:

$$\bar{Q} = \bar{q}F / 10^3 = 2 \cdot 1030 / 10^3 = 2,06 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для вычисления коэффициента вариации C_v определяют параметр A для реки-аналога (р. Медведица):

$$A = C_v \bar{q}^{0,4} (F + 1000)^{0,1} = 0,39 \cdot 2,43^{0,4} (7610 + 1000)^{0,1} = 1,374.$$

Полученный параметр A принимают для изучаемого бассейна. После чего вычисляют коэффициент вариации:

$$C_v = A / \bar{q}^{0.4} (F + 1000)^{0.1} = 1,374 / 2^{0.4} (1030 + 1000)^{0.1} = 0,48$$

Соотношение коэффициентов C_s/C_v принимают по группе рек-аналогов равным 1 , так как все бассейны-аналоги имеют $C_s/C_v = 1$.

Таким образом, $C_s = C_v = 0,48$.

3.6. Внутригодовое распределение стока

3.6.1. Общие положения

Определение расчетного календарного внутригодового распределения стока в створе проектирования при длительности рядов наблюдений n , равной 15 годам и более, производится, согласно Своду правил (СП 33-101-2003), следующими тремя методами: 1) компоновки; 2) реального года; 3) среднего распределения стока за годы характерной градации водности.

Расчеты внутригодового распределения стока рек указанными методами обычно производятся по водохозяйственным годам, начинающимся с первого месяца многоводного сезона. В отдельных случаях возможно выполнение расчетов внутригодового распределения стока для гидрологических лет, начинающихся с первого месяца периода накопления влаги, или для обычных календарных лет. Исходная информация о месячном стоке обычно выражается в $\text{м}^3/\text{с}$ или в слоях стока воды. При расчетах внутригодового распределения стока информацию целесообразнее обрабатывать, переводя в км^3 или в тыс. м^3 , так как при этом учитывается различие в числе дней не високосных и високосных лет и в числе секунд в разные месяцы года.

В зависимости от типа водного режима исследуемой реки, от объекта проектирования и характера использования стока конкретной реки водохозяйственный год делится на два различающихся по длительности в разных условиях периода - *лимитирующий* и *не лимитирующий*, а *лимитирующий* период соответственно - на два сезона - *лимитирующий* и *не лимитирующий*.

Границы сезонов назначаются едиными для всех лет с округлением до месяца.

Рассматриваемые методы предназначены для определения расчетного внутригодового распределения стока за водохозяйственный год расчетной вероятности превышения $P\%$. Значение $P\%$ назначается в соответствии с задачами хозяйственного использования воды исследуемой реки или с решением конкретной гидрологической и экологической задачи. Длительность n многолетнего периода, необходимая для надежного определения расчетного календарного внутригодового распределения стока, должна быть такой, чтобы оценка точности расчета среднего многолетнего значения стока за лимитирующий сезон удовлетворяла требованиям раздела 3.1. В зависимости от достаточной по указанному критерию точности, длительности наблюдений n выделяются следующие группы водности (по градациям вероятностей превышения стока реки за водохозяйственный год).

При периоде наблюдений n от 15 до 30 лет обычно выделяется 3 группы водности: многоводные годы ($P < 33,3\%$), средние по водности годы ($33,3\% \leq P \leq 66,7\%$) и маловодные годы ($P > 66,7\%$). При продолжительности наблюдений более 30 лет выделяются 5 градаций водности: очень многоводные годы ($P < 16,7\%$), многоводные годы ($16,7\% \leq P < 33,3\%$), средние по водности годы ($33,3\% \leq P < 66,7\%$), маловодные годы ($66,7\% \leq P < 83,3\%$) и очень маловодные годы ($P \geq 83,3\%$). Данная схема выделения групп характерных по водности лет основана на принципе примерно равного числа лет в каждой из трех основных групп: *многоводной*, *средней* по водности и *маловодной*.

По значениям стока за отдельные водохозяйственные годы и расчетные внутригодовые интервалы времени (лимитирующий период, лимитирующий сезон, не лимитирующий сезон, лимитирующий месяц и др.) определяются статистические параметры аналитических кривых вероятностей превышения и расчетные квантили. Стандартными квантилями кривых распределения вероятностей стока являются следующие: для многоводных лет, периодов, се-

зон и месяцев - 1, 3, 5, 10 и 25%, для маловодных лет, периодов, сезонов и месяцев - 75, 90, 95, 97 и 99%, а для средних по водности - 50%.

В рамках данного учебного пособия подробно рассмотрен расчет внутригодового распределения стока *методом компоновки*, который представлен ниже.

Основные принципы *метода реального года* при расчетах внутригодового распределения стока состоят в следующем.

Данный метод основан на выборе расчетного водохозяйственного года из числа фактических с использованием принципа наибольшей близости вероятностей превышения стока за водохозяйственный год, лимитирующий период, лимитирующий сезон и лимитирующий месяц к расчетной вероятности превышения. Этот выбор производится из числа j -ых лет (от $j=1$ до $j=t$; t -число лет с годовым стоком заданной градации водности) расчетной группы водности с использованием следующего условия:

$$\Sigma(\Delta P)^2_{j=1} = (P_{вг} - P_{расч})^2_j + (P_{лт} - P_{расч})^2_j + (P_{лс} - P_{расч})^2_j + (P_{лм} - P_{расч})^2_j, \quad (3.41)$$

где: $P_{расч}$ - расчетная вероятность превышения, принимаемая одинаковой для всех расчетных интервалов времени; $P_{вг}$, $P_{лт}$, $P_{лс}$, $P_{лм}$ - значения вероятностей превышения стока за выбранный водохозяйственный год и его лимитирующий период, лимитирующий сезон и лимитирующий месяц в расчетном створе реки.

$\Sigma(\Delta P)^2_j$ - результирующая сумма, которая определяется последовательно для каждого из t j -ых исследуемых водохозяйственных лет, вошедших в расчетную группу лет заданной градации водности.

В качестве расчетного года принимается тот водохозяйственный год, для которого по формуле (3.41) получено наименьшее значение суммы $\Sigma(\Delta P)^2_j$.

При практическом применении условия (3.41) для выбора характерного по водности года (*особенно очень маловодного, маловодного, очень многоводного и многоводного*) необходимо, чтобы значения отклонения вероятностей превышения стока за расчетные интервалы времени от требуемой веро-

ятности превышения не превышали диапазон обеспеченностей каждой из этих градации водности (16,7%), а для средних по водности лет, имеющих диапазон обеспеченностей 33,3%, не отличались более, чем на 20 %.

Водохозяйственный год, для которого левая часть уравнения (3.41) имеет наименьшее значение, принимается в качестве модели относительного (в долях годового объема стока) внутригодового распределения стока. При планировании использования речных вод в случае предстоящего регулирования стока исследуемой реки, из правой части уравнения (3.41) исключается слагаемое $(P_{лм} - P_{расч})^2_j$. При решении отдельных практических задач может оказаться целесообразным не ограничиваться выбором лишь одного характерного по водности года, для которого левая часть уравнения (3.41) оказалась наименьшей, а также выполнить дополнительный анализ относительных распределений стока и для других водохозяйственных лет, входящих в исследуемую градацию характерных по водности лет.

Абсолютное расчетное распределение стока в этом методе и методе компоновки вычисляется путем умножения месячных долей стока на годовой объем стока расчетной вероятности превышения, определяемый по аналитической кривой обеспеченности.

Метод средних распределений стока за водохозяйственный год заданной градации водности.

Метод основан на расчете средних относительных распределений месячных объемов стока от годовой их суммы путем осреднения относительных значений стока каждого i -го месяца за все годы, входящие в ту или иную градацию водности. Эти распределения, отражающие реальные соотношения (доли) месячного стока в годовом его объеме, являются типовыми распределениями, свойственными каждой отдельной группе характерных по водности лет. Абсолютное расчетное распределение месячного стока, выраженное в объемах (км^3 или м^3) воды, вычисляется путем умножения месячных долей стока интересующей градации водности на объем стока за водохозяйствен-

ный год заданной вероятности превышения. Последний определяется по аналитической кривой обеспеченности.

Данный метод может быть использован не только для определения средних распределений стока за характерные группы лет, выбранные по принципу попадания в заданный расчетный диапазон вероятностей превышения стока отдельных водохозяйственных лет (в заданную градацию водности). При решении отдельных практических задач этот метод может быть применен для оценки среднего внутригодового распределения стока для серий (группировок) характерных по водности водохозяйственных лет, следующих друг за другом.

Для районов, в которых расчетное распределение стока по сезонам и месяцам практически не зависит от водности года, расчеты рассматриваемым методом сводятся к установлению среднего по всем годам распределения стока по месяцам (декадам) в процентах от годового стока.

При практическом применении данного метода, в зависимости от характера решаемой задачи, возможны два варианта установления распределения месячного (декадного) стока внутри отдельных сезонов. Первый из них, предназначенный, например, для выполнения воднобалансовых расчетов, гидроэкологических оценок и определенной части водохозяйственных расчетов, основан на использовании естественного календарного хода месячного (декадного) стока внутри расчетных сезонов (без его ранжирования) и на получении распределений стока, осредненных для характерной группы лет (или сезонов) заданного диапазона вероятностей превышения. Второй вариант, предназначенный для водохозяйственных расчетов, допускает описанный при изложении метода компоновки способ определения внутрисезонного распределения стока с его ранжированием и отнесением полученных средних значений к тому месяцу (декаде), который имеет наибольшую частоту среди осредненных месячных (декадных) значений (см. метод компоновки).

При использовании *метода компоновки* сток за не лимитирующий период определяется по разности расчетных значений объемов стока за водохо-

зайственный год и лимитирующий период, сток за не лимитирующий сезон - по разности расчетных объемов стока за лимитирующий период и лимитирующий сезон, а суммарный объем стока всех не лимитирующих месяцев - по разности расчетных объемов стока за лимитирующий сезон и лимитирующий месяц. Расчетные значения стока за водохозяйственный год, лимитирующий период, лимитирующий сезон и лимитирующий месяц определяются по соответствующим аналитическим кривым распределения стока с использованием принципа равенства расчетных вероятностей превышения стока ($P_{расч}$) за водохозяйственный год ($P_{вг}$), лимитирующий период ($P_{лп}$), лимитирующий сезон ($P_{лс}$) и лимитирующий месяц ($P_{лм}$).

Внутрисезонное распределение стока в методе компоновки рассчитывается по специальной методике. Расчетные значения месячного стока внутри лимитирующего сезона и не лимитирующего сезона определяются с таким расчетом, чтобы получить для этих сезонов наиболее неравномерные распределения стока. С этой целью внутри каждого из этих сезонов, входящих в соответствующую группу водности, месячные объемы стока располагаются в убывающем порядке с указанием календарных месяцев, к которым они относятся. Каждому ранжированному месячному значению каждого из m лет, входящих в рассматриваемую группу водности, присваивается свой порядковый номер. Для всех m лет данной группы водности производится суммирование месячных объемов стока, имеющих одинаковые порядковые номера в полученных ранжированных их внутрисезонных рядах. Путем сложения этих сумм для всех k месяцев, входящих в рассматриваемый сезон, находится их сумма за сезон. Делением сумм стока месяцев, имеющих одинаковые порядковые номера, на их общую сумму за сезон определяется относительное внутрисезонное распределение стока (по месяцам внутри сезона в долях или % от суммарного объема стока). Полученным средним за m лет месячным долям (или %) теперь вместо присвоенных ранее порядковых номеров присваиваются названия того календарного месяца, который встречался наиболее часто при сложении указанных m значений месячного стока одинакового

номера. Для составного периода (например, для лимитирующего периода), включающего в себя два сезона (лимитирующий сезон и не лимитирующий сезон), месячные объемы стока располагаются в порядке убывания отдельно для каждого из составляющих их сезонов (лимитирующий сезон и не лимитирующий сезон).

Для рек с весенним половодьем выделяется многоводный период – весна, а за лимитирующий два маловодных сезона – лето – осень и зима. *При преобладании водопотребления на сельскохозяйственные нужды за лимитирующий сезон следует принимать лето-осень, а для гидроэнергетики – зиму.* При проектировании отвода избыточных вод для борьбы с наводнениями или при осушении болот и заболоченных земель за лимитирующий период следует принимать *весну и лето-осень* и за *лимитирующий сезон – весну*. Следовательно, лимитирующий период и сезон назначаются в зависимости от типа внутригодового режима стока и характера его использования.

Задание 3.6

1. Составить таблицу внутригодового распределения стока и рассчитать межсезонное его распределение методом компоновки.
2. Определить величины стока и статистические параметры за отдельные сезоны и периоды года.
3. По найденным параметрам вычислить сток заданной вероятности превышения за год, за лимитирующий период и сезон, за многоводный период и сезон и нелимитирующий период.
4. Рассчитать внутрисезонное распределение стока.

Исходными данными к выполнению задания является ряд среднемесячных расходов воды исследуемой реки.

Порядок и пример выполнения работы

Исходными данными к расчету внутригодового распределения р. Медведицы приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.19

Средние месячные расходы (р. Медведица, р.п. Лысье Горы)

Годы	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1936			4,51	66,8	12,8	5,72	2,35	2,08	3,48	3,42	3,22	3,28
1937	3,41	3,29	45,5	38	15,6	6,74	4,89	4,01	3,43	3,57	3,41	4,45
1938	3,88	3,56	17,7	77,6	16,2	9,32	3,07	2,42	2,33	3,9	4	2,99
1939	2,47	2,7	5,32	88,2	9,39	5,12	3,76	2,41	1,61	3,23	2,8	2,81
1940	3,02	3,12	5,99	134	12,3	5,96	3,6	2,43	3,59	4,77	5,89	3,79
1941	3,22	3,77	4,5	249	32,1	13	12,7	11	7,14	8,4	7,45	4,87
1942	4,36	3,78	4,46	263	52,1	13,7	9,68	7,74	3,75	5,16	5,15	3,86
1943	3,77	4,24	4,44	53,6	9,72	8,06	3,44	3,62	4,6	3,99	4,56	4,42
1944	4	4,96	40,5	94,7	17	10,8	8,9	8,32	7,45	7,24	6,7	3,88
1945	4,89	4,46	4,84	55	14,1	8,57	7,35	6,03	4,5	5,44	5,35	4,98
1946	4,94	4,55	9,01	328	16,1	5,87	5,3	4,52	4,47	5,06	4,34	2,81
1947	3,62	3,67	69,4	126	9,37	6,17	4,84	5,6	4,92	4,74	5,01	5,09
1948	29,3	5,69	6,89	806	18,3	6,66	5,34	5,19	5,02	4,84	5,36	4,28
1949	4,05	4,16	4,89	128	17,4	6,66	5,95	4,67	3,96	3,88	3,95	4,6
1950	4,09	4,1	5,56	83,5	7,76	4,55	4,35	4,28	4,79	5,32	5,26	4,81
1951	4,56	4,88										

Расчет внутригодового распределения стока ведется в зависимости от сроков основных гидрологических сезонов и характера использования стока. Расчеты сводят в таблицу 3.10.

В нашем примере р. Медведица (р.п. Лысье Горы) по внутригодовому режиму относится к Восточно-Европейскому типу рек с весенним половодьем. Отсюда многоводный период включает один сезон – многоводный – весну. Шестнадцатилетний ряд наблюдений в границах данного сезона имеет годы с наиболее ранним сроком его наступления (1937, март) и более поздним сроком окончания (1942, май).

При использовании стока для орошения за лимитирующий сезон принимается лето-осень, лимитирующий период – лето-осень+зима.

Расчет внутригодового распределения стока в табл. 3.10 ведется по водохозяйственным годам и поэтому в гр.1 записывается не календарный, а водохозяйственный год (1936-1937) и т.д.. Как видно из табл. 3.10 один год из расчета выпадает.

Таблица 3.10

Расчет межсезонного распределения стока, м³/с

Годы	Расход за лимитирующий сезон (лето-осень)						Суммарный сток за лето-осень	k	k-1	(k-1) ²
	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1936-37	5,72	2,35	2,08	3,48	3,42	3,22	20,27	0,62	-0,38	0,14
1937-38	6,74	4,89	4,01	3,43	3,57	3,41	26,05	0,80	-0,20	0,04
1938-39	9,32	3,07	2,42	2,33	3,90	4,00	25,04	0,77	-0,23	0,05
1939-40	5,12	3,76	2,41	1,61	3,23	2,80	18,93	0,58	-0,42	0,18
1940-41	5,96	3,60	2,43	3,59	4,77	5,89	26,24	0,81	-0,19	0,04
1941-42	13,0	12,7	11,0	7,14	8,40	7,45	59,69	1,84	0,84	0,71
1942-43	13,7	9,68	7,74	3,75	5,16	5,15	45,18	1,39	0,39	0,15
1943-44	8,06	3,44	3,62	4,60	3,99	4,56	28,27	0,87	-0,13	0,02
1944-45	10,8	8,90	8,32	7,45	7,24	6,70	49,41	1,52	-0,52	0,27
1945-46	8,57	7,35	6,03	4,50	5,44	5,35	37,19	1,14	0,14	0,02
1946-47	5,87	5,30	4,52	4,47	5,06	4,34	29,56	0,91	-0,09	0,01
1947-48	6,17	4,84	5,60	4,92	4,74	5,01	31,28	0,96	-0,04	0,002
1958-49	6,66	5,34	5,19	5,02	4,84	5,36	32,41	0,99	-0,01	0,0001
1949-50	6,66	5,95	4,07	3,96	3,88	3,95	29,07	0,89	-0,11	0,012
1936-37	5,72	4,35	4,28	4,79	5,32	5,26	28,55	0,88	-0,12	0,14

$$\sum Q_{л-о} = 487,84 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$\sum (k-1)^2 = 1,658$$

продолжение таблицы 3.10

Расход за сезон (весну)			Суммарный весенний сток	Расход за сезон (зиму)			Суммарный зимний сток	Суммарный сток за маловодный период (зима +лето+осень)	k	k-1	(k-1) ²	Расход в убывающем порядке			P = m · 100/(n + 1)
март	апрель	май		де-кабрь	ян-варь	фев-раль						Суммарный зимний сток	Суммарный зимний сток	Суммарный сток за лето-осень	
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
4,51	66,8	12,8	84,11	3,28	3,41	3,29	9,98	30,25	0,66	-0,34	0,12	40,08	353,11	59,69	6,25
45,5	38,0	15,6	99,1	4,45	3,88	3,56	11,89	37,94	0,82	-0,18	0,03	14,47	331,19	49,41	12,50
17,7	77,6	16,2	111,5	2,99	2,47	2,70	8,16	33,20	0,72	-0,28	0,08	14,25	319,56	45,18	18,75
5,32	88,2	9,39	102,91	2,81	3,02	3,12	8,95	27,88	0,60	-0,40	0,16	13,38	285,6	37,19	25,00
5,99	134	12,3	152,29	3,79	3,22	3,77	10,28	37,02	0,80	-0,20	0,04	13,23	204,77	32,41	31,25
4,50	249	32,1	285,6	1,87	4,36	3,78	12,51	72,20	1,57	0,57	0,32	12,79	152,29	31,28	37,80
4,40	263	52,1	319,56	3,90	3,77	4,24	11,97	57,15	1,24	0,24	0,06	12,51	152,2	29,56	43,75
4,44	53,6	9,72	67,76	4,42	4,00	4,96	13,38	41,65	0,90	-0,10	0,012	12,44	150,29	29,07	50,00
40,5	94,7	17,0	152,2	3,88	4,89	4,46	13,23	62,64	1,36	0,36	0,13	11,97	111,5	28,55	56,25
4,84	55,0	14,1	73,94	4,98	4,94	4,55	14,47	51,66	1,12	0,12	0,014	11,89	102,91	28,27	62,50
9,01	328	16,1	353,11	2,81	3,62	3,67	10,10	39,66	0,86	-0,14	0,02	10,28	99,11	26,24	68,75
69,4	126	9,37	204,77	5,09	29,3	5,69	40,08	71,36	1,55	0,55	0,30	10,10	96,82	26,05	75,00
6,89	306	18,3	331,19	4,28	4,09	4,16	12,44	44,85	0,97	-0,03	0,001	8,98	84,11	25,04	81,25
4,89	128	17,4	150,29	4,60	4,09	4,10	12,79	41,86	0,91	-0,09	0,008	8,95	73,94	20,27	87,50
5,56	83,5	7,76	96,82	4,81	4,50	4,88	14,25	42,80	0,93	-0,07	0,005	8,16	67,76	18,93	93,75

$\sum Q_B = 2585,13 \text{ м}^3/\text{с}$ $\sum Q_3 = 204,98 \text{ м}^3/\text{с}$ $\sum Q_{\text{меж}} = 692,82 \text{ м}^3/\text{с}$ $\sum (k-1)^2 = 1,287$

Суммируя расходы воды за месяц каждого периода, определяют величины стока за лимитирующий сезон, за период половодья (весну), за период межени в каждом году.

Для каждого ряда находятся параметры кривой обеспеченности \bar{Q} , C_v , C_s . Суммарный сток за лимитирующий сезон равен: $\sum Q_{л-о} = 487,84 \text{ м}^3/\text{с}$,

тогда

$$\bar{Q}_{л-о} = 487,84 / 15 = 32,52 \text{ м}^3/\text{с}; C_v = 0,34, C_s = C_v = 0,39.$$

Суммарный и средний сток за многоводный период (весну)

$$\sum Q_B = 2585,15 \text{ м}^3/\text{с}; \bar{Q}_B = 172,34 \text{ м}^3/\text{с}.$$

за период межени

$$\sum Q_{меж} = 692,92 \text{ м}^3/\text{с}; \bar{Q}_{меж} = 46,19 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$C_v = \sqrt{\sum (k-1)^2 / (n-1)} = \sqrt{1,287 / (15-1)} = 0,30; C_s = C_v = 0,30.$$

Суммарный сток зимы $\sum Q_3 = 204,98 \text{ м}^3/\text{с}; \bar{Q}_3 = 13,66 \text{ м}^3/\text{с}.$

В соответствии с задачами водохозяйственного использования назначается расчетная обеспеченность стока.

В задании расчетная обеспеченность принята $P = 80\%$.

При расчете по методу компоновки внутригодовое распределение стока принимается из условия равенства вероятности превышения стока за год, за лимитирующий период и внутри его за лимитирующий сезон.

Сток за нелимитирующий период (весну) определяют как разность между стоком за год и стоком за лимитирующий период

$$Q_{p\%B} = \bar{Q}_{p\%Г} - Q_{p\%меж} \quad (3.42)$$

Сток за лимитирующий сезон должен также соответствовать заданной обеспеченности. Тогда его определяют как разность между стоком за лимитирующий период и сезон, а именно:

$$Q_{p\%з} = Q_{p\%меж} - Q_{p\%л-о}. \quad (3.43)$$

По найденным параметрам табл. 3.10 определяются лишь необходимые расходы заданной обеспеченности:

$$Q_{p\%Г} = k_{p\%} \bar{Q} \cdot 12; \quad (3.44)$$

$$Q_{p\% \text{ меж}} = k_{p\% \text{ меж}} \cdot \bar{Q}_{\text{ меж}} ; \quad (3.45)$$

$$Q_{p\% \text{ л-о}} = k_{p\% \text{ л-о}} \cdot \bar{Q}_{p\% \text{ л-о}} , \quad (3.46)$$

где $k_{p\%}$ – ординаты кривой обеспеченности, определяемые по соответствующим параметрам таблицы ординат кривых трехпараметрического гамма-распределения (прил. 4) ; \bar{Q} , $\bar{Q}_{\text{ меж}}$, $\bar{Q}_{\text{ л-о}}$ – среднее значение годового стока, меженного стока и стока за лето-осень.

Среднее значение годового стока и C_v следует принять из раздела 3.2 равными $\bar{Q} = 19,12 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v = 0,39$.

Отсюда расчетный годовой сток 80 %-ой обеспеченности равен

$$\bar{Q}_{80\% \Gamma} = 0,657 \cdot 19,19 \cdot 12 = 150,79 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Соответственно расчетный сток межени при $\bar{Q}_{\text{ меж}} = 46,14 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v = 0,30$

$$Q_{80\% \text{ меж}} = 0,740 \cdot 46,14 = 34,14 \text{ м}^3/\text{с};$$

сток за лимитирующий сезон лето-осень при $\bar{Q}_{\text{ л-о}} = 32,52 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v = 0,34$, $C_s/C_v = 1$.

$$Q_{80\% \text{ л-о}} = 0,70332,52 = 22,86 \text{ м}^3/\text{с};$$

за зиму –

$$Q_{80\% \text{ оз}} = 34,14 - 22,86 = 11,28 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Расчетный сток нелимитирующего периода

$$Q_{p\% B} = \bar{Q}_{p\% \Gamma} - Q_{p\% \text{ меж}} = 150,79 - 34,14 = 116,65 \text{ м}^3/\text{с}$$

Внутрисезонное распределение стока по месяцам производится по трем группам водности: многоводная, включающая годы с обеспеченностью стока за сезон ($P < 33,3 \%$), средняя по водности ($33,3 \% \leq P \leq 66,7 \%$), мало-водная ($P > 66,7 \%$).

Группу водности и соответствующие ей расходы и годы легко установить по фактической обеспеченности, приведенной в таблице 3.10.

Расчет внутрисезонного распределения стока для лет средней водности проводим табличным способом (табл. 3.11 – 3.13).

Для каждого года, входящего в соответствующую группу водности, среднемесячные расходы внутри сезона располагаются в убывающем порядке с указанием календарных месяцев, к которым они относятся.

Таблица 3.11

Расчет внутрисезонного распределения стока в весенний период

Годы	$P = m \cdot 100 / (n + 1)$	$Q_{\text{с}}$	1		2		3	
			$Q_{\text{м}}$	М	$Q_{\text{м}}$	М	$Q_{\text{м}}$	М
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1940-41	37,80	152,29	134,0	IV	12,30	V	5,99	III
1944-45	43,75	152,20	94,70	IV	40,50	III	17,00	III
1949-50	50,00	150,29	128,0	IV	17,40	V	4,89	V
1938-39	56,25	111,50	77,60	IV	17,40	III	16,20	III
1939-40	62,50	102,91	82,20	IV	9,39	V	5,32	III
$\sum Q_{\text{в}} = 669,19$			552,5	IV	97,29	V	49,4	III
			100%	78%		14,5%		7,5%

В гр. 3 табл. 3.11 – 3.13 из гр. 27 табл. 3.10 выписываются $P\%$, далее выписываются соответствующие им расходы сезонов Q и годы.

В гр. 4, 6, 8 и т.д. вписываются месячные расходы в порядке убывания из табл. 3.10, а в гр. 5, 7, 9 и т.д. – их календарные месяцы. Цифры 1, 2, 3 и т.д. стоящие в заголовке вверху гр.4, 5, 6, 7, 8, 9 и т.д. соответствуют порядковому номеру месяца.

Для всех лет данной группы водности производится суммирование полученных ранжированных рядов среднемесячных расходов и сумм среднемесячных расходов за сезон. Для каждой группы находят суммы расходов за период и за месяц. Принимая сумму расходов за период 100%, определяют, какой процент от этого стока за период составляет сток за каждый месяц.

Аналогично находится процентное распределение стока по месяцам в среднем за весь период.

Полученные значения процентной обеспеченности для каждого порядкового номера месяца следует отнести к тому календарному месяцу, который встречается наиболее часто. Для этого следует проанализировать данные гр. 5, 7, 9 и т.д., т.е. по вертикали подсчитывается число различных календарных месяцев за рассматриваемые годы и принимается для расчетов календарные месяцы, которые повторяются наиболее часто.

Таблица 3.12

Расчет внутрисезонного распределения стока в летне-осенний период

Годы	$P = m \cdot 100 / (n + 1)$	$Q_{л-о}$	1		2		3		4		5		6	
			Q_m	М	Q_m	М	Q_m	Q_m	Q_m	М	Q_m	М	Q_m	М
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1947-48	37,8	31,28	6,17	VI	5,60	XII	5,07	XI	4,92	IX	4,84	VII	4,47	X
1946-47	43,75	29,56	5,87	VI	5,30	VII	5,06	X	4,52	VIII	4,47	IX	4,34	XI
1949-50	50	29,07	6,66	VI	5,95	VII	4,07	VIII	3,96	IX	3,95	XI	3,88	I
1950-51	56,25	28,55	5,32	X	5,26	XI	4,79	IX	4,55	VI	4,35	VII	4,28	VIII
1943-44	62,5	28,27	8,06	VI	4,60	IX	4,56	XI	3,99	X	3,62	VIII	3,44	XII
$\sum Q_{л-о} = 146,73$			32,08	VI	26,71	VII	23,49	XI	21,94	IX	21,33	VIII	20,68	X
			100%	22%	18,3%		16%		15%		14,5%		14,2%	

Таблица 3.13

Расчет внутрисезонного распределения стока в зимний период

Годы	$P = m \cdot 100 / (n + 1)$	$Q_з$	1		2		3	
			Q	М	Q	М	Q	М
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1940-41	37,6	12,79	4,60	XII	4,10	II	4,09	I
1944-45	43,75	12,51	4,87	XII	4,36	I	3,78	II
1949-50	50	12,44	4,28	XII	4,16	II	4,05	I
1938-39	56,25	11,97	4,24	II	3,90	XII	3,77	I
1939-40	62,5	11,89	4,45	XII	3,99	I	3,56	II
$\sum Q_з = 61,6$			22,4	XII	20,4	II	19,25	I
			100%	36%	33%		31%	

Умножая процентное внутрисезонное распределение стока на значение стока за сезон, получаем месячный расход за год расчетной обеспеченности.

Как указывалось выше, в расчет были взяты расходы обеспеченностью ($33,3 \% \leq P \leq 66,7 \%$), т.е. средней по водности группы (гр. 27 табл. 3.10). Зная расчетный сток весны $116,65 \text{ м}^3/\text{с}$, получаем значения месячных расходов расчетной обеспеченности, $\text{м}^3/\text{с}$.

$$Q_{III}(7,5\%) = 116,65 \cdot 0,075 = 8,75 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{IV}(78\%) = 116,65 \cdot 0,78 = 90,99 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_V(14,5\%) = 116,65 \cdot 0,145 = 16,91 \text{ м}^3/\text{с};$$

Аналогично проводится расчет для других месяцев

$$Q_{VI}(22\%) = 22,86 \cdot 0,22 = 5,03 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{VII}(18,3\%) = 22,86 \cdot 0,183 = 4,18 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{VIII}(14,5\%) = 22,86 \cdot 0,145 = 3,31 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{IX}(15\%) = 22,86 \cdot 0,15 = 3,43 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_X(14,2\%) = 22,86 \cdot 0,142 = 3,25 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{XI}(16\%) = 22,86 \cdot 0,16 = 3,66 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{XII}(36\%) = 11,28 \cdot 0,36 = 4,06 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_I(31\%) = 11,28 \cdot 0,31 = 3,50 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{II}(33\%) = 11,28 \cdot 0,33 = 3,72 \text{ м}^3/\text{с};$$

Подобные расчеты проводятся и для других групп водности.

По полученным данным на миллиметровке строится гидрограф реки. Для этого по оси абсцисс откладываются месяцы в выбранном масштабе (1 см – 1 мес.), по оси ординат – месячные расходы (рис. 3.7). На рис. 3.7 лимитирующий период и сезон назначены исходя из использования стока для целей орошения.

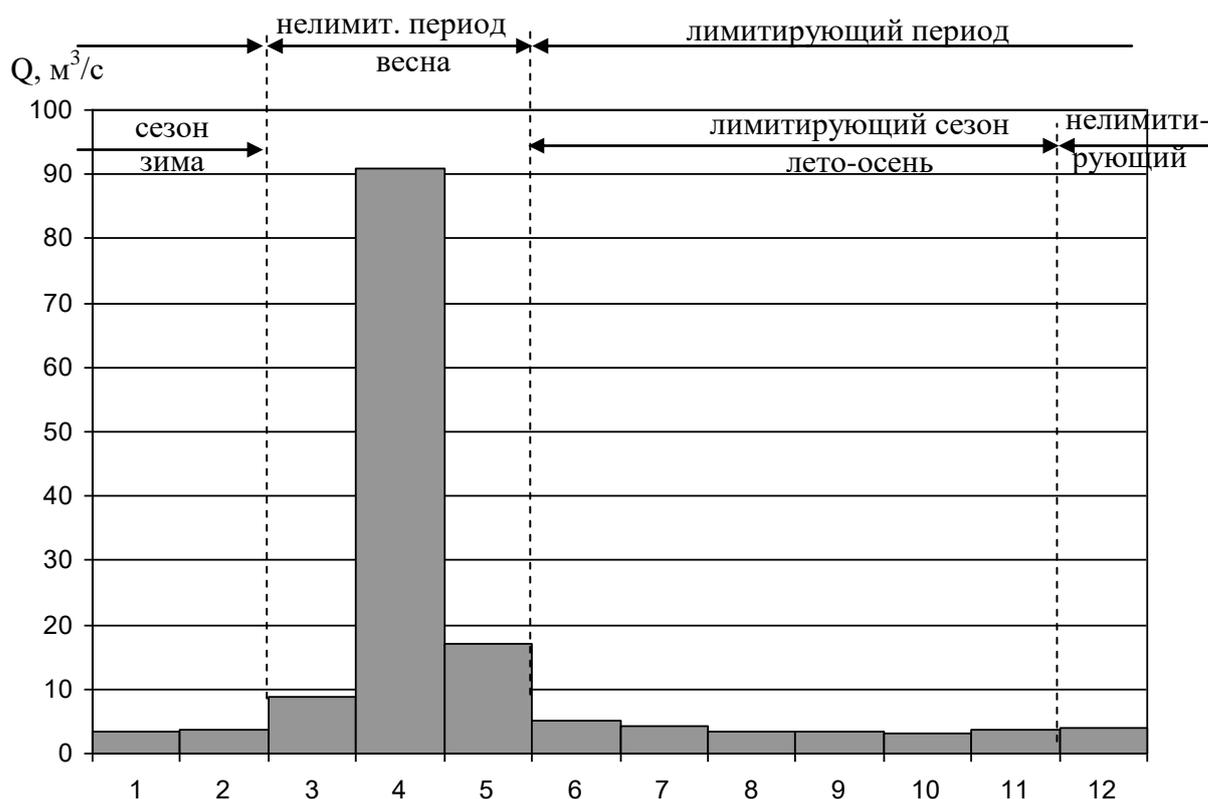


Рис. 3.7. Расчетный гидрограф $P=80\%$ р. Медведицы (р.п. Лысье Горы)

3.7. Максимальный сток

3.7.1. Определение расчётных максимальных расходов воды при наличии данных гидрометрических наблюдений

Одна из наиболее ответственных задач при проектировании гидротехнических сооружений – установление расчетных максимальных расходов воды, принимаемых в качестве исходных величин для определения водопропускных и водосбросных отверстий этих сооружений.

Под *максимальным расходом талых и дождевых вод* понимают наибольшие в каждом году значения мгновенных или срочных расходов во время прохождения весеннего половодья или дождевых паводков на реках и временных водотоках.

Расчетные максимальные расходы определяют в зависимости от класса капитальности сооружений, принимая в качестве критерия ежегодную веро-

ятность превышения (обеспеченность) $P\%$ расчетных максимальных расходов (табл. 3.13).

Таблица 3.13

Ежегодная вероятность превышения $P\%$ расчётных максимальных расходов воды

Расчётные случаи	Класс гидротехнических сооружений			
	1	2	3	4
Основной	0,1	1,0	3,0	5,0
Поверочный	0,01	0,1	0,5	1,0

Временные гидротехнические сооружения рассчитывают на пропуск максимального расхода обеспеченностью 10%.

Расчетные максимальные расходы годовых максимумов устанавливают отдельно для талых и дождевых вод. Из двух полученных значений для проектных целей выбирают наибольшее или то, которое приводит к наиболее неблагоприятным условиям работы сооружения.

При наличии гидрометрических данных по максимальному стоку за достаточно длительный период наблюдений расчётные максимальные расходы талых и дождевых вод определяют с помощью аналитических кривых обеспеченности.

Для построения аналитических кривых обеспеченности вычисляют параметры: средний многолетний максимальный расход \bar{Q}_{\max} , коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s . Для расчетов используют, как правило, кривую трехпараметрического гамма-распределения. При достаточном обосновании допускается использовать биномиальную кривую обеспеченности (при $C_s \geq 2C_v$).

При вычислении параметров указанных аналитических кривых применяют: метод наибольшего правдоподобия для трехпараметрического гамма-распределения; метод моментов для биномиального и трехпараметрического гамма-распределения; графоаналитический метод по трем опорным ординатам $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{95\%}$ сглаженной эмпирической кривой обеспеченности максимальных расходов воды для биномиального распределения.

Коэффициент асимметрии максимальных расходов C_s ввиду значительных случайных ошибок расчета этого параметра непосредственно по данным наблюдений в изучаемом пункте реки определяют по среднему отношению C_s/C_v , полученному для группы рек-аналогов с наиболее продолжительными рядами наблюдений за максимальными расходами в рассматриваемом гидрологическом районе.

По найденным параметрам \bar{Q}_{\max} , C_v и C_s строят аналитическую кривую обеспеченности максимальных расходов (трехпараметрического гамма-распределения или биномиального распределения) и сопоставляют её с эмпирической кривой обеспеченности.

Расчётные максимальные расходы воды заданной обеспеченности P , % определяют по формуле (3.37).

При проектировании сооружений I класса, а также ГТС, разрушение которых приводит к катастрофическим последствиям, к максимальному расходу $P=0,01\%$ прибавляют гарантийную поправку, т.е. получают исправленный расход:

$$Q'_{0,01\%} = Q_{0,01\%} + \Delta Q_{0,01\%} \quad (3.47)$$

Гарантийная поправка равна:

$$\Delta Q_{0,01\%} = \alpha E_{0,01\%} Q_{0,01\%} / \sqrt{n} , \quad (3.48)$$

где α – коэффициент, характеризующий гидрологическую изученность рек; принимается равным $1,0$ для гидрологически изученных рек, во всех остальных случаях $-1,5$; $E_{p\%}$ – величина, характеризующая случайную среднюю квадратическую ошибку расчетного расхода воды ежегодной вероятности превышения $P = 0,01\%$, определяемая по таблице 3.14; n – число лет наблюдений с учетом приведения к многолетнему периоду.

Поправка $\Delta Q_{0,01\%}$ должна приниматься равной не более чем 20 % значения максимального расхода воды $Q_{0,01\%}$.

Значения $E_P\%$ в формуле (3.48)

Значения C_s/C_v	Коэффициенты вариации 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
<i>Трехпараметрическое гамма-распределение</i>															
<i>Метод наибольшего правдоподобия</i>															
2	0.25	0.45	0.60	0.75	0.88	0.96	1.05	1.14	1.22	1.30	1.38	1.46	1.54	1.60	1.67
3	0.30	0.50	0.75	1.00	1.18	1.30	1.43	1.55	1.68	1.78	1.90	2.00	2.10	2.24	2.33
4	0.40	0.70	1.00	1.30	1.48	1.60	1.74	1.88	2.00	2.15	2.27	2.40	2.58	2.65	2.77
<i>Метод моментов</i>															
2	0.25	0.45	0.60	0.75	0.88	0.96	1.05	1.14	1.22	1.30	1.38	1.46	1.54	1.60	1.67
3	0.30	0.57	0.84	1.10	1.34	1.55	1.74	1.93	2.12	2.28	2.42	2.56	2.68	2.80	2.92
4	0.40	0.77	1.12	1.43	1.73	2.00	2.22	2.42	2.60	2.77	2.94	3.10	3.26	3.41	3.57
<i>Биномиальное распределение</i>															
<i>Метод моментов</i>															
2	0.25	0.45	0.60	0.75	0.88	0.96	1.05	1.14	1.22	1.30	1.38	1.46	1.54	1.60	1.67
3	0.28	0.52	0.75	0.97	1.19	1.35	1.59	1.63	1.96	2.14	2.31	2.49	2.66	2.84	3.01
4	0.30	0.61	0.91	1.20	1.49	1.66	2.04	2.30	2.56	2.82	3.09	3.35	3.62	3.89	4.15

Принимаемый расчетный расход с учетом гарантийной поправки не должен быть меньше, чем наибольший наблюдаемый расход.

При наличии сведений о выдающемся историческом максимуме (экстремальном расходе) параметры аналитической кривой обеспеченности определяют с учетом исторического максимума методом наибольшего правдоподобия или методом моментов по соответствующим расчетным зависимостям [7].

Расчетные максимальные расходы воды *зарегулированных рек* определяются исходя из расчетного максимального расхода воды рек в естественном состоянии с учетом изменения его в результате хозяйственной деятельности в бассейне реки и трансформации проектируемыми или действующими водохранилищами.

На реках с каскадным расположением гидроузлов расчетные максимальные расходы воды следует определять с учетом влияния вышележащих

гидроузлов на приток к нижерасположенным и боковой приточности между гидроузлами. Режим пропуска высоких вод через такие гидроузлы должен учитывать влияние вышележащих гидроузлов на приток воды к нижерасположенным.

При этом возможны следующие случаи:

а) водопропускные сооружения верхнего гидроузла не обеспечивают транзитного пропуска (при НПУ) расходов воды, соответствующих расчетной вероятности превышения для нижнего гидроузла. В этом случае следует учитывать срезку максимального расчетного расхода воды вышерасположенным водохранилищем: приток к рассматриваемому нижнему гидроузлу определяется как сумма сбросных расходов воды между рассматриваемым и вышерасположенным гидроузлами. При этом гидрографы паводочного или паводочного притока к верхнему гидроузлу и боковой приточности между гидроузлами должны соответствовать расчетной вероятности превышения для нижнего гидроузла. Распределение максимальных расходов воды и объема паводья или паводка производятся по моделям реальных высоких паводий (паводков); следует рассматривать два варианта:

- вероятность превышения притока к верхнему гидроузлу такая же, как и расчетная для рассматриваемого нижнего гидроузла, а приток с частного водосбора дополняет расчетный естественный сток в створе верхнего гидроузла таким образом, чтобы в нижнем створе иметь высокий сток расчетной вероятности превышения, соответствующий классу рассматриваемого в этом створе гидроузла;

- вероятность превышения высокого стока боковой приточности между гидроузлами такая же, как и расчетная для нижнего гидроузла, а приток к вышерасположенному гидроузлу дополняет боковую расчетную приточность таким образом, чтобы в нижнем створе иметь высокий сток расчетной вероятности превышения, соответствующий классу рассматриваемого в этом створе гидроузла;

б) водопропускные сооружения верхнего гидроузла способны пропус-

катель при НПУ расходы воды, превосходящие максимальный расход вероятности превышения, соответствующей классу проектируемого нижнего гидроузла. В этом случае, в качестве расчетного расхода воды в нижнем бьефе вышерасположенного гидроузла, принимается расход воды, соответствующий полной пропускной способности всех водопропускных сооружений гидроузла при НПУ. Для получения расчетного притока к нижнему гидроузлу указанный расход воды в нижнем бьефе верхнего гидроузла суммируется с максимальными расходами половодья (паводка) с частного водосбора между гидроузлами, соответствующего расчетной вероятности превышения для рассматриваемого нижнего гидроузла.

Задание 3.7.1

1. По максимальным мгновенным расходам воды определить параметры: \bar{Q}_{\max} , C_v и C_s .
2. Построить аналитическую кривую обеспеченности и сопоставить ее с эмпирической кривой обеспеченности.
3. Определить расчетные максимальные расходы воды для сооружений всех классов.

Исходными данными к выполнению задания является ряд максимальных мгновенных расходов исследуемой реки.

Порядок выполнения работы

1. В качестве модели для распределения максимальных расходов принимают трехпараметрическое гамма-распределение. Для установления параметров распределения \bar{Q}_{\max} , C_v и C_s производятся вспомогательные расчеты, которые сводятся в табл. 3.15.

По максимальным расходам воды (см. табл. 3.15, гр. 3) вычисляют средний максимальный расход за $n = 35$ годам.

$$\bar{Q}_{\max} = \sum_{i=1}^n Q_{i\max} / n = 14504,3 / 35 = 414,41 \text{ м}^3/\text{с}$$

Таблица 3.15

Параметры кривой обеспеченности максимальных расходов талых вод
р. Медведицы (р.п. Лысье Горы)

№ п.п.	Год	Максимальный расход $Q_{i \max}$, м ³ /с	$Q_{i \max}$ в убывающем порядке	k	$k-1$	$(k-1)^2$	$\lg k$	$k \lg k$	$P_m = m \cdot 100 / (n+1)$, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	8
1	1936	267	1100	2,72	1,72	2,96	0,435	1,183	2,78
2	1937	194	870	2,152	1,152	1,327	0,333	0,717	5,56
3	1938	174	800	1,88	0,98	0,96	0,274	0,515	8,33
4	1939	337	799	1,98	0,98	0,96	0,297	0,588	11,11
5	1940	310	713	1,764	0,764	0,584	0,246	0,434	13,89
6	1941	500	680	1,68	0,68	0,46	0,225	0,378	16,67
7	1982	870	560	1,385	0,385	0,148	0,141	0,195	19,44
8	1943	163	511	1,264	0,264	0,07	0,102	0,129	22,22
9	1944	312	508	1,257	0,257	0,066	0,099	0,124	25,0
10	1945	202	508	1,257	0,257	0,066	0,099	0,124	27,78
11	1946	1100	500	1,24	0,24	0,058	0,093	0,115	30,56
12	1947	508	490	1,212	0,212	0,045	0,084	0,102	33,33
13	1948	799	470	1,163	0,16	0,0256	0,066	0,077	36,11
14	1949	337	440	1,09	0,09	0,008	0,037	0,040	38,89
15	1950	280	434	1,074	0,074	0,005	0,031	0,033	41,67
16	1951	511	414	1,024	0,024	0,0005	0,010	0,010	44,44
17	1952	204	403	1,0	0,00	0,00	0,000	0,000	47,22
18	1953	440	348	0,861	-0,139	0,019	-0,065	-0,056	50,0
19	1954	403	338	0,836	-0,16	0,0256	-0,078	-0,065	52,78
20	1955	800	337	0,83	-0,17	0,029	-0,081	-0,067	55,56
21	1956	434	337	0,83	-0,17	0,029	-0,081	-0,067	58,33
22	1957	680	312	0,772	-0,228	0,05	-0,112	-0,086	61,11
23	1958	309	310	0,767	-0,231	0,05	-0,115	-0,088	63,89
24	1959	348	309	0,764	-0,276	0,076	-0,117	-0,089	66,67
25	1960	414	280	0,963	-0,307	0,094	-0,016	-0,015	69,44
26	1961	508	267	0,6	-0,34	0,116	-0,222	-0,133	72,22
27	1962	213	213	0,527	-0,47	0,221	-0,278	-0,147	75,0
28	1963	470	204	0,505	-0,49	0,24	-0,297	-0,150	77,78
29	1964	560	202	0,5	-0,5	0,25	-0,301	-0,151	80,56
30	1965	490	194	0,48	-0,52	0,27	-0,319	-0,153	83,33
31	1966	92	176	0,435	-0,565	0,319	-0,362	-0,157	86,11
32	1967	176	174	0,43	-0,57	0,325	-0,367	-0,158	88,69
33	1968	338	163	0,403	-0,597	0,356	-0,395	-0,159	91,67
34	1969	48,3	92	0,228	-0,77	0,593	-0,642	-0,146	94,44
35	1970	713	48,3	0,119	-0,88	0,77	-0,924	-0,110	97,22

$$\sum Q_{\max} = 14504,3 \text{ м}^3/\text{с} \quad \sum K = 35 \quad \sum (k-1)^2 = 10,994; \quad \sum \lg k = -2,65; \quad \sum k \lg k = 2,308$$

Определяют статистики

$$\lambda_2 = \left(\sum_{i=1}^n \lg k_i \right) / (n-1) = -2,65 / (35-1) = -0,078;$$

$$\lambda_3 = \left(\sum_{i=1}^n k_i \lg k_i \right) / (n-1) = 2,308 / (35-1) = 0,068.$$

По вычисленным λ_2 и λ_3 , используя номограмму (см. прил.3), находят $C_v = 0,57$ и $C_s / C_v = 2$. С учетом зоны исследований и анализа рек-аналогов C_s принимается равным $2C_v$.

Поэтому за расчетные принимают: $\bar{Q}_{\max} = 414,41 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v = 0,57$ и $C_s / C_v = 2$.

2. По найденным параметрам, используя прил. 4, определяют ординаты аналитической кривой (табл. 3.16).

Таблица 3.16

Ординаты кривой трехпараметрического гамма-распределения при $C_v = 0,57, C_s = 2C_v$

$P, \%$	0,01	0,1	1	5	10	20	30	40
$K_{P\%}$	4,586	3,70	2,776	2,084	1,764	1,420	1,204	1,034
$Q_{P\%}, \text{м}^3/\text{с}$	1900,48	1533,32	1150,40	863,63	731,02	588,46	498,95	428,50
$P, \%$	50	60	70	80	90	95	97	99
$K_{P\%}$	0,896	0,765	0,643	0,519	0,377	0,282	0,228	0,153
$Q_{P\%}, \text{м}^3/\text{с}$	371,31	317,02	266,47	215,08	156,23	116,86	94,49	63,40

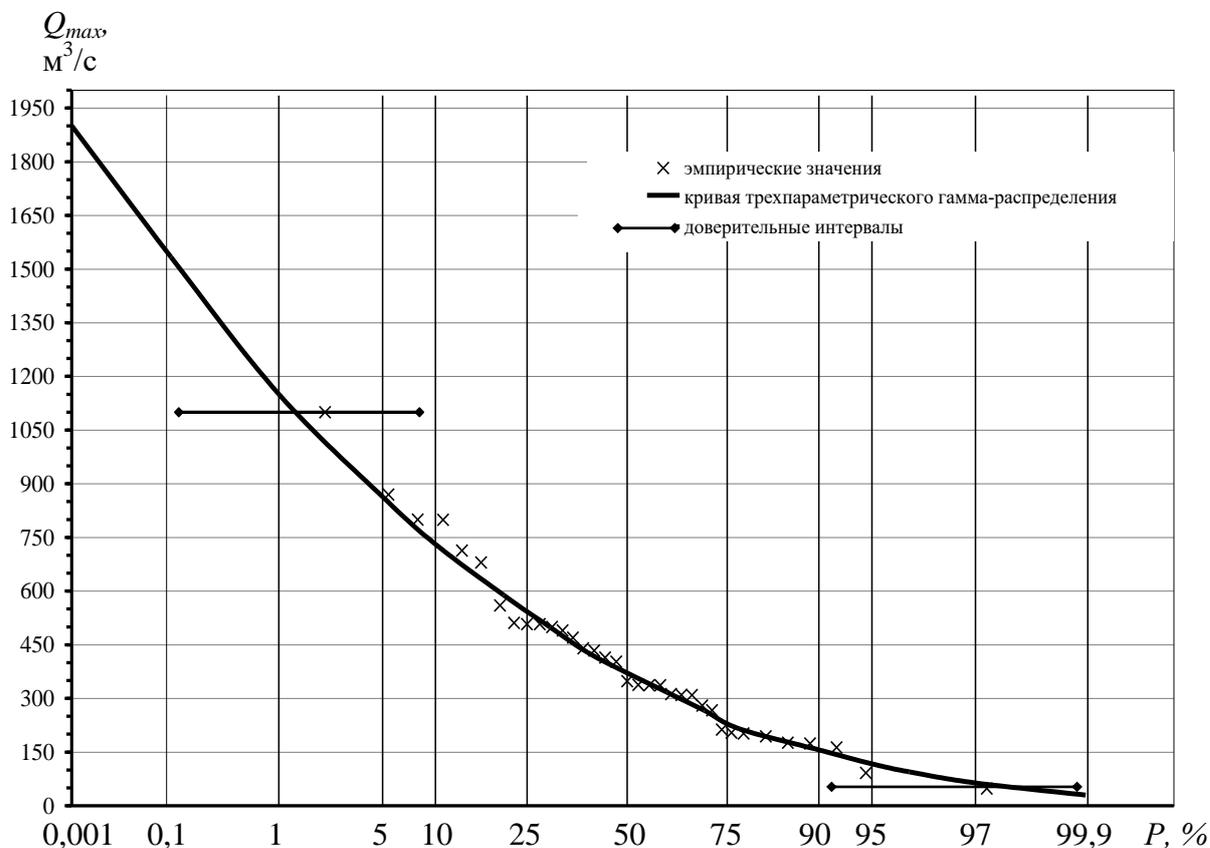


Рис. 3.8. Кривая обеспеченности максимальных расходов талы вод р. Медведицы (р.п. Лысые Горы)

По полученным результатам на клетчатке вероятностей (рис. 3.8) строят аналитическую кривую обеспеченности максимальных расходов.

Сопоставление аналитической кривой с эмпирической кривой обеспеченности, т.е. с данными фактических наблюдений (табл. 3.15, гр. 4 и 8) подтверждает их соответствие. На клетчатку вероятностей наносят также границы доверительных интервалов для эмпирической вероятности превышения наибольшего ($Q_{\max 1} = 1100 \text{ м}^3/\text{с}$) и наименьшего ($Q_{\max 35} = 48,3 \text{ м}^3/\text{с}$) членов ряда, определяемые по табл. 3.4.

$$0,17 \leq P_1 = 2,78\% \leq 8,8\%;$$

$$91,1 \leq P_{35} = 97,22\% \leq 99,84\%$$

Анализ доверительных интервалов свидетельствует о том, что принятая аналитическая кривая *хорошо согласуется с данными наблюдений* (верхняя и нижняя ее части попадают в доверительные интервалы) *и поэтому может быть принята для расчета максимальных расходов воды.*

Пользуясь аналитической кривой обеспеченности определяют расчетные максимальные расходы воды для *всех классов сооружений* и двух случаев - *основного* и *проверочного*, т.е.:

I класс:

$$Q_{0,1\%} = k_{0,1\%} \bar{Q}_{\max} = 3,70 \cdot 414,41 = 1533,32 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{0,01\%} = k_{0,01\%} \bar{Q}_{\max} = 4,586 \cdot 414,41 = 1900,48 \text{ м}^3/\text{с};$$

II класс

$$Q_{1\%} = k_{1\%} \bar{Q}_{\max} = 2,776 \cdot 414,41 = 1150,40 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{0,1\%} = k_{0,1\%} \bar{Q}_{\max} = 3,70 \cdot 414,41 = 1533,32 \text{ м}^3/\text{с};$$

III класс

$$Q_{3\%} = k_{3\%} \bar{Q}_{\max} = 2,308 \cdot 414,41 = 956,46 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{0,5\%} = k_{0,5\%} \bar{Q}_{\max} = 3,24 \cdot 414,41 = 1342,69 \text{ м}^3/\text{с};$$

IV класс

$$Q_{5\%} = k_{5\%} \bar{Q}_{\max} = 2,084 \cdot 414,41 = 863,63 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{1\%} = k_{1\%} \bar{Q}_{\max} = 2,776 \cdot 414,41 = 1150,40 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Для первого класса находим исправленный расход по формуле (3.47), прибавляя поправку $\Delta Q_{0,01\%}$, которую рассчитывают по формуле (3.48).

Принимая в формуле (3.48) $\alpha=1,0$ (для гидрологически изученных рек), $E_p\% = 0,936$ (см. табл. 3.14), имеем

$$\Delta Q_{0,01\%} = \alpha E_{0,01\%} Q_{0,01\%} / \sqrt{n} = 1 \cdot 0,936 \cdot 1900,48 / \sqrt{35} = 300,48 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Гарантийная поправка не более 20 % максимального расхода:

$$\Delta Q_{0,01\%} = 300,48 \text{ м}^3/\text{с} < 0,2 \cdot 1900,48 = 380,10 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Следовательно, с учетом гарантийной поправки расчетный максимальный расход 0,01%-й обеспеченности р.Медведица (р.п. Лысые Горы) равен:

$$Q'_{0,01\%} = Q_{0,01\%} + \Delta Q_{0,01\%} = 1900,48 + 300,48 = 2200,96 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3.7.2. Определение расчетных максимальных расходов талых вод при отсутствии данных гидрометрических наблюдений

При определении расчетных максимальных расходов талых вод в условиях отсутствия данных наблюдений необходимо руководствоваться основными положениями, изложенными в СП 33-101-2003. Данный Свод правил рекомендует использовать приведенные ниже методы расчета максимальных расходов воды рек весеннего половодья на реках с площадями водосборов от элементарных (менее 1 км²) до 20000 км² для европейской части России и до 50000 км² – для азиатской части.

При проектировании сооружений на реках с площадями водосборов, превышающими указанные пределы, максимальные расходы талых вод при отсутствии гидрометрических данных определяют по результатам инженер-

но-гидрометеорологических изысканий в исследуемом районе.

Расчетный максимальный расход воды весеннего половодья $Q_{P\%}$, м³/с, заданной вероятности превышения $P\%$ при наличии рек-аналогов определяют по редуционной формуле:

$$Q_{P\%} = K_0 h_{P\%} \mu \delta \delta_1 \delta_2 F / (F + F_1)^n \quad (3.49)$$

где K_0 – параметр, характеризующий дружность (форму гидрографа) весеннего половодья; $h_{P\%}$ – расчётный слой суммарного (без срезки грунтового питания) весеннего стока той же вероятности превышения $P\%$, что и искомый максимальный расход воды, мм; μ – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды; δ – коэффициент, учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озёр; δ_1 – коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода в залесенных бассейнах; δ_2 – коэффициент учитывающий снижение максимального расхода в заболоченных бассейнах; F – площадь водосбора; F_1 – дополнительная площадь водосбора, учитывающая снижение интенсивности модуля максимального стока с уменьшением площади водосбора, км²; n – показатель степени редукции, характеризующий уменьшение отношения $q_{P\%}/h_{P\%}$ в зависимости от площади водосбора.

1. Параметр K_0 вычисляют по данным рек-аналогов обратным расчётом:

$$K_0 = Q_{P\%} (F_a + F_1)^n / (h_{P\%} \mu \delta_a \delta_{1a} \delta_{2a} F_a) \quad (3.50)$$

2. Расчётный слой стока половодья определяют по уравнению:

$$h_{P\%} = k_{P\%} \bar{h} \quad (3.51)$$

Для вычисления $h_{P\%}$ необходимо определить три параметра аналитической кривой: \bar{h} , C_v , C_s/C_v .

Средний многолетний слой стока половодья \bar{h} определяется по рекам-аналогам или по картам среднего слоя весеннего стока (рис. 3.9).

При проектировании сооружений на реках в степной зоне России и в полупустынной зоне Западной Сибири с площадями водосборов менее 3000 км² в значения среднего многолетнего слоя стока \bar{h} (весеннего), вычисленные по рекам-аналогам или интерполяцией по картам, следует вводить по-

правочные коэффициенты из таблицы 3.17.

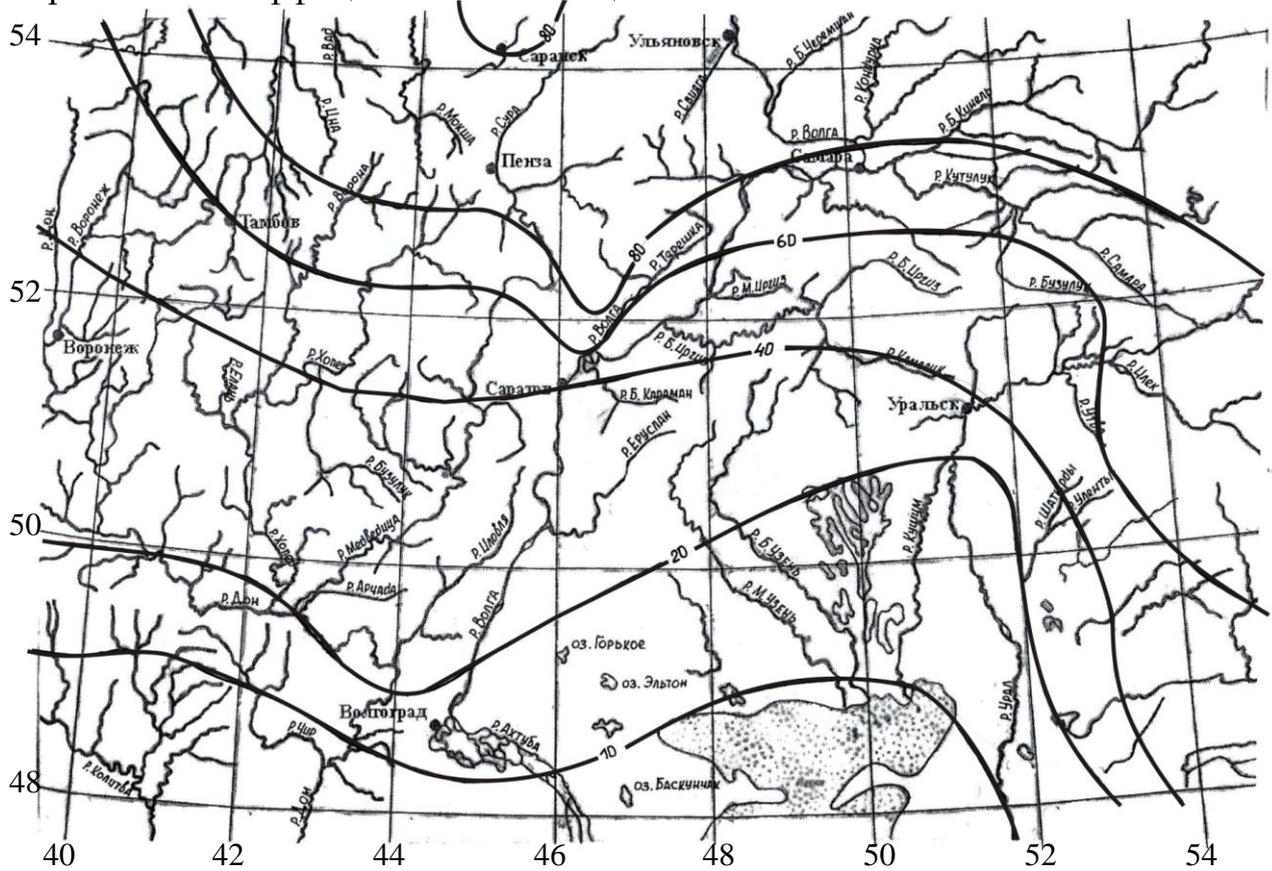


Рис. 3.9. Карта среднемноголетнего слоя стока половодья рек



Рис. 3.10. Карта коэффициента вариации среднемноголетнего

Поправочные коэффициенты к значениям среднего многолетнего слоя весеннего стока

Средний многолетний слой весеннего стока \bar{h} , мм	Площадь водосбора F , км ²			
	Менее 200	500	1000	3000
Менее 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

Примечание: Для промежуточных значений площадей водосборов и средних многолетних слоёв весеннего стока поправочные коэффициенты определяются интерполяцией.

Для малых равнинных рек с площадью водосбора $F < 200$ км² лесостепной, степной, полупустынной зон и засушливых степей средний многолетний слой весеннего стока следует определять интерполяцией по картам среднего слоя половодья рек страны с введением поправочных коэффициентов, устанавливаемых по зависимости:

$$\bar{h} = f(J_B), \quad (3.52)$$

где J_B – уклон водосбора.

При наличии озер, расположенных в бассейне реки, в величину среднего многолетнего слоя стока весеннего половодья, определенную интерполяцией, следует вводить коэффициент снижения слоя стока весеннего половодья, устанавливаемый по зависимости:

$$\bar{h} = f(f'_{oz}) \quad (3.53)$$

При этом параметр f'_{oz} , % определяют по формуле:

$$f'_{oz} = \sum_{i=1}^n (100 S_i F_i / F^2), \quad (3.54)$$

где S_i – площадь зеркала озера, км²; F_i – площадь водосбора озера, км²; F – площадь водосбора в расчетном створе реки, км².

Также при определении коэффициента можно использовать таблицу 3.18.

Таблица 3.18

Значения коэффициентов снижения стока весеннего половодья

Средневзвешенная озёрность бассейна $f'_{оз}$, %	Коэффициент снижения стока весеннего половодья
0 ... 2,8	0,9...0,8
2,9 ... 6,4	0,8...0,6

Коэффициент вариации стока весеннего половодья определяется по рекам аналогам или интерполяцией по карте изолиний этого параметра (рис. 3.10).

Для рек с площадями водосборов менее 200 км в значения, полученные интерполяцией, следует вводить поправочные коэффициенты согласно таблицы 3.19

Таблица 3.19

Поправочные коэффициенты к коэффициентам вариации C_v стока
весеннего половодья

Площадь водосбора F , км ²	0...50	51...100	101...150	151...200
Поправочный коэффициент	1,25	1,25...1,20	1,20...1,15	1,15...1,05

Расчетное соотношение C_s/C_v для стока весеннего половодья принимают как среднее из значений этого соотношения по данным рек-аналогов.

3. Коэффициент μ , учитывающий неравенство статистических параметров кривых распределения стока и максимальных расходов воды, определяется по природным зонам согласно таблице 3.20.

Таблица 3.20

Значения коэффициента μ , учитывающего неравенство параметров
стока и максимальных расходов воды

Природная зона	Обеспеченность P , %								
	0,1	1	3	5	10	25	50	75	95
Тундра и лесная зона	1,02	1,0	0,97	0,96	0,93	0,9	0,86	0,82	0,82
Лесостепная	1,04	1,0	0,96	0,93	0,89	0,8	0,72	0,64	0,58
Степная	1,04	1,0	0,97	0,96	0,93	0,88	0,79	0,64	0,42
Зона засуш- ливых сте- пей и полу- пустынь	1,02	1,0	0,98	0,97	0,96	0,92	0,8	0,7	0,5

Географическое положение бассейна (природная зона) устанавливается по карте «Физико-географические зоны территории России».

4. Коэффициент δ при наличии проточных озёр в главном русле или на основных притоках определяют по формуле:

$$\delta = 1/(1 + cf'_{оз}) \quad (3.55)$$

где c – коэффициент, принимаемый равным 0,2 для лесной и лесостепной зон и 0,4 – для степной зоны.

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

$$\delta = \begin{cases} 1 & \text{при } f'_{оз} < 2\% \\ 0,8 & \text{при } f'_{оз} > 2\% \end{cases} \quad (3.56)$$

При наличии на реке водохранилищ коэффициент δ находят по проектным данным.

Влияние прудов при расчёте максимальных расходов воды обеспеченностью менее 5% не учитывают, а при $P > 5\%$ допускается уменьшать расчетный максимум до 10 %.

5. Коэффициент δ_1 вычисляют по уравнению:

$$\delta_1 = \alpha_1 / (f_l + 1)^{n_2}, \quad (3.57)$$

где α_1 – параметр (табл. 3.21), f_l – лесистость водосбора, %; n_2 – коэффициент редукиции (см. табл. 3.21).

Таблица 3.21

Значения α_1 и n_2 в зависимости от природных зон и расположения леса на водосборе

Природная зона	Расположение леса на водосборе	α_1 при различных f_l , %			Коэффициент редукиции n_2 для почвогрунтов под лесом		
		3 – 9	10 – 19	20 – 30	различного механического состава	супесчаных	суглинистых
Лесная	А	1,0	1,0	1,0	0,22	-	-
	В	0,85	0,8	0,75	0,22	-	-
	С	1,2	1,25	1,3	0,22	-	-
Лесостепная	А, С	1,0	1,0	1,0	0,16	0,2	0,22
	В	1,25	1,3	1,4	0,16	0,2	0,22

Примечание. А, В, С – расположение леса на водосборе соответственно равномерное, в верхней части, в нижней и прирусловой частях.

6. Коэффициент δ_2 рассчитывают по формуле:

$$\delta_2 = 1 - \beta \lg(0,1f_\sigma + 1), \quad (3.58)$$

где β – коэффициент, зависящий от типа болот (табл. 3.22).

Таблица 3.22

Значения коэффициента β в зависимости от типа болот

Тип болота	β
Низинные болота и заболоченные леса и луга на водосборах, сложенных супесчаными и легкосуглинистыми почвами (грунтами)	0,8
Разные на одном водосборе	0,7
Верховые на водосборах, сложенных супесчаными и легкосуглинистыми почвами (грунтами)	0,5
Верховые на водосборах, сложенных среднесуглинистыми и глинистыми почвами (грунтами)	0,3

f_σ – относительная площадь болот, заболоченных лугов и лесов в бассейне, %.

7. Значения n и F_1 в формуле (3.49) определяют по таблице 3.23.

Таблица 3.23

Значения n и F_1 для равнинных рек в зависимости от природной зоны

Природная зона	n	F_1 , км ²
Тундровая и лесная (европейская часть СНГ, Западная и Восточная Сибирь)	0,17	1
Лесостепная (европейская часть СНГ и Западная Сибирь)	0,25	2
Степная, засушливых степей и полупустынь (европейская часть СНГ, Западная Сибирь, Западный и Центральный Казахстан)	0,35	10

Задание 3.7.2

Требуется определить расчетный максимальный расход талых вод 1 %-й обеспеченности р. Аткара (г. Аткарск) при отсутствии данных наблюдений.

Исходными данными к выполнению задания являются: площадь водосбора р. Аткары (г. Аткарск) $F = 1030$ км², лесистость $f_l = 4,0$ % (леса расположены в нижней части водосбора), заболоченность $f_\sigma = 0$, средневзвешенная озерность $f_{оз} = 0$, почвы различного механического состава, зона степная.

Порядок и пример выполнения работы

Параметр K_0 по данным реки-аналога (р. Медведица, р.п. Лысье Горы) определяем по формуле (3.50). Характеристики водосбора реки-аналога $F = 7610 \text{ км}^2$, $f_l = 10 \%$ (леса расположены в нижней части водосбора), $f'_{оз} = 0$, $f'_б = 0$. Характеристики стока весеннего половодья р. Медведицы: $Q_{max1\%} = 1150,40 \text{ м}^3/\text{с}$, слой стока половодья $h_{1\%} = \bar{h} k_{1\%} = 55 \cdot 2,89 = 159 \text{ мм}$ при $C_v = 0,6$ и $C_s = 2C_v$.

Вычисляем для реки-аналога коэффициенты, входящие в формулу (3.51):

Коэффициент $\delta_a = 0$, т.к. $f'_{оз} = 0$.

Коэффициент δ_{1a} рассчитывают по формуле (3.58) с использованием таблицы 3.21:

$$\delta_1 = 1/(10+1)^{0,16} = 0,68.$$

Коэффициент $\delta_{2a} = 0$, т.к. $f_\delta = 0$.

По табл. 3.20 находим $\mu = 1,0$, а по табл. 3.23 – $n = 0,35$ и $F_l = 10 \text{ км}^2$.

Подставляя найденные параметры, получим:

$$K_0 = 1150,40(7610+10)^{0,35} / (159 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,68 \cdot 1 \cdot 7610) = 0,032$$

2. Определяем расчетный слой стока весеннего половодья обеспеченностью 1% для р. Аткары (г. Аткарск).

С карт (рис. 3.9 и рис. 3.10) снимаем значения $\bar{h} = 60 \text{ мм}$, $C_v = 0,6$. Отношение C_s/C_v принимаем по данным реки-аналога (р. Медведица) равным 2.

По приложению 4 для $C_s = 2C_v$ находим $k_{1\%} = 2,89$, а затем вычисляем $h_{1\%} = k_{1\%} \bar{h} = 2,89 \cdot 60 = 174 \text{ мм}$.

3. По табл. 3.20 для степной зоны при $P = 1 \%$ коэффициент $\mu = 1$

4. Коэффициент $\delta = 1$, т.к. $f'_{оз} = 0$.

5. Коэффициент δ_l определяем по формуле (3.58) с использованием табл. 3.21:

$$\delta_1 = 1/(4+1)^{0,16} = 0,77.$$

6. Коэффициент $\delta_2 = 1$, т.к. $f_\delta = 0$.

7. Показатель степени редукции n и дополнительная площадь водосбора F_I согласно табл. 3.23 – $n = 0,35$; $F_I = 10 \text{ км}^2$.

Подставляя в формулу (3.49) найденные параметры получаем расход талых вод 1%-ной обеспеченности:

$$Q_{P\%} = 0,032 \cdot 174 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,77 \cdot 1 \cdot 1030 / (1030 + 10)^{0,35} = 388,21 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3.7.3. Определение расчётных максимальных расходов воды дождевых паводков

При наличии рек-аналогов максимальные мгновенные расходы дождевых паводков $Q_{P\%}$, $\text{м}^3/\text{с}$ для водосборов более $50 \dots 100 \text{ км}^2$ вычисляют (СП 33-101-2003) по эмпирической редукционной формуле типа I:

$$Q_{P\%} = q_{P\%a} \varphi_m (\delta \delta_2 / \delta_a \delta_{2a}) F, \quad (3.59)$$

где $q_{P\%a}$ – модуль максимального срочного расхода воды реки-аналога расчетной вероятности превышения $P\%$, $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$; φ_m – коэффициент, учитывающий редукцию максимального модуля стока дождевого паводка ($q_{1\%}$) с увеличением площади водосбора или продолжительности руслового времени добегания (τ_p , мин); рассчитывают в зависимости от значения коэффициента n_ϕ , представляющего соотношение коэффициентов формы водосбора исследуемой реки и реки-аналога:

$$n_\phi \approx LF_a^{0,56} / L_a F^{0,56}, \quad (3.60)$$

где L и L_a – гидрографическая длина водотока для исследуемой реки и реки-аналога соответственно, км; F и F_a – площадь водосбора для исследуемой реки и реки-аналога соответственно, км^2 .

При $n_\phi < 1,5$ расчетное значение коэффициента φ_m определяют:

$$\varphi_m = (F_a / F)^n \quad (3.61)$$

При $n_\phi > 1,5$:

$$\varphi_m = (\Phi_a / \Phi)^n, \quad (3.62)$$

где Φ и Φ_a – гидроморфометрическая характеристика русла для исследуемой реки и реки-аналога соответственно, определяется по формуле (3.65); δ и δ_a , δ_2 и δ_{2a} – поправочные коэффициенты, учитывающие для исследуемой реки и реки-аналога регулирующее влияние соответственно озер (прудов, водохранилищ) и болот (заболоченных земель). При использовании формулы (3.62) значения коэффициентов δ_2 и δ_{2a} принимают равными единице.

При отсутствии рек-аналогов для определения $Q_{P\%}$ применяется расчетная формула типа II:

$$Q_{P\%} = q_{200}(200/F)^n \delta \delta_2 \delta_3 \lambda_{P\%} F, \quad (3.63)$$

где q_{200} – модуль максимального срочного расхода воды ежегодной вероятности превышения $P=1\%$, приведенный к условной площади водосбора, равной 200 км^2 при $\delta = \delta_2 = \delta_3 = 1,0$; определяют для исследуемой реки при наличии региональной карты параметра q_{200} интерполяцией, а при отсутствии карты – на основе использования многолетних данных гидрологически изученных рек; $\delta = \delta_2$ – допускается определять по формулам (3.55) и (3.58); δ_3 – поправочный коэффициент, учитывающий изменение параметра q_{200} с увеличением средней высоты водосбора \bar{H} , м, в полугорных и горных районах; $\lambda_{P\%}$ – переходный коэффициент от максимальный срочных расходов воды ежегодной вероятности превышения $P=1\%$ к значениям другой вероятности превышения (табл. 3.25).

При отсутствии рек-аналогов для водосборов площадью менее 200 км^2 максимальные расходы дождевых паводков $Q_{P\%}$ определяют по формуле типа III (предельной интенсивности стока):

$$Q_{P\%} = q'_{1\%} \varphi H_{1\%} \delta \lambda_{P\%} F, \quad (3.64)$$

где $q'_{1\%}$ – относительный модуль максимального срочного расхода воды ежегодной вероятности превышения $P = 1\%$, выраженный в долях от произведения $\varphi \cdot H_{P\%}$, при $\delta = 1$, определяется по табл. 3.24 в зависимости от:

- гидроморфометрической характеристики русла исследуемой реки Φ_p ;
- продолжительности склонового добега $\tau_{ск}$, мин;
- района типовых кривых редукции осадков на территории России (рис. 3.10);

$H_{1\%}$ - максимальный суточный слой осадков вероятностью превышения $P = 1\%$, мм, определяемый по данным ближайших к бассейну исследуемого водотока метеорологических станций с наибольшей длительностью наблюдений или по карте суточного слоя осадков на территории России;

$\lambda_{p\%}$ - переходный коэффициент от максимальных расходов воды ежегодной вероятностью $P = 1\%$ к максимальным расходам воды другой вероятности превышения принимается согласно рис. 3.11 и таблице 3.25.

Таблица 3.24

Значения параметра $q'_{1\%}$

Район	Продолжительность склонового добега-ния $\tau_{ск}$, мин	Максимальный модуль стока при значениях Φ_p , равных							
		0	5	10	20	50	100	200	300
Равнинные области запада и центра европейской части СНГ	30	0,25	0,21	0,17	0,12	0,054	0,028	0,013	0,0084
	60	0,16	0,14	0,12	0,088	0,049	0,026	0,013	0,0082
	100	0,11	0,095	0,085	0,068	0,047	0,026	0,013	0,0082
	150	0,075	0,07	0,065	0,055	0,038	0,023	0,012	0,0082
Возвышенности европейской части СНГ, западный склон Урала	30	0,27	0,22	0,18	0,13	0,059	0,029	0,013	0,0083
	60	0,17	0,14	0,13	0,096	0,052	0,027	0,013	0,0083
	100	0,11	0,10	0,09	0,074	0,045	0,025	0,013	0,0082
	150	0,082	0,075	0,07	0,06	0,038	0,023	0,012	0,008

Гидроморфометрическая характеристика русла исследуемой реки определяется по формуле:

$$\Phi_p = 1000L / [m_p I_p^m F^{0,25} (\varphi H_{1\%})^{0,25}], \quad (3.65)$$

где L – длина реки, км; m_p – коэффициент, зависящий от шероховатости русла, поймы, определяемый по табл. 3.26; φ – сборный коэффициент стока при отсутствии рек-аналогов

$$\varphi = [c_2 \varphi_0 / (F + 1)^{n_6}] (I_{ск} / 50)^{n_5}, \quad (3.66)$$

c_2 – эмпирический коэффициент, принимаемый для лесной и тундровой зон равным 1,2; для остальных природных зон – 1,3; φ_0 – сборный коэффициент стока для водосбора площадью F , равной 10 км^2 , со средним укло-

ном склонов $I_{СК} = 50 \text{ ‰}$ (принимается по табл. 3.27); n_5 – принимается по табл. 3.27; n_6 – для лесной зоны равен 0,07; для остальных – 0,11.

на территории России

Таблица 3.25

Переходные коэффициенты $\lambda_{P\%}$ от максимальных расходов воды ежегодной вероятностью превышения $P = 1\%$ к максимальным расходам воды другой вероятности превышения

Номер района по рис.3.11	Площадь водосбора F , км ² , средняя высота водосбора \bar{H}_b , м	Переходные коэффициенты $\lambda_{P\%}$ при вероятности превышения $P\%$, равной						
		0,1	1	2	3	5	10	25
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	$A > 0$	1,4	1,0	0,82	0,74	0,64	0,54	0,38
2	$A \geq 0,1$	1,5	1,0	0,85	0,77	0,67	0,55	0,36
	$A < 0,1$	1,4	1,0	0,76	0,69	0,60	0,5	0,32
3	$A > 0$	1,4	1,0	0,90	0,86	0,80	0,69	0,50
4	$A \geq 100$	1,4	1,0	0,82	0,77	0,70	0,60	0,40
	$A = 0,1$		1,0	0,82	0,68	0,48	0,32	0,21
5	$A > 0$	1,6	1,0	0,83	0,74	0,62	0,46	0,28
6	$A > 0$	2,5	1,0	0,70	0,58	0,42	0,30	0,14
7	$A > 0$	2,4	1,0	0,74	0,63	0,50	0,32	0,19
8	$A > 0$	1,6	1,0	0,82	0,74	0,64	0,47	0,30
9	$A > 0$	1,45	1,0	0,85	0,79	0,70	0,55	0,38
10	$A > 0$	2,6	1,0	0,70	0,58	0,40	0,26	0,14
11	$A \geq 100$	1,7	1,0	0,80	0,70	0,55	0,40	0,20
	$A = 0,1$		1,0	0,80	0,62	0,38	0,20	0,05
12	$A > 0$	(1,8)	1,0	0,75	0,65	0,50	0,34	0,10
13	$\bar{H}_b \geq 1000$	1,4	1,0	0,88	0,79	0,75	0,60	0,44
	$\bar{H}_b < 1000$	1,3	1,0	0,94	0,89	0,82	0,74	0,60
14	$A > 0$	1,4	1,0	0,86	0,79	0,70	0,55	0,36
15	$A \geq 1000$	1,5	1,0	0,86	0,78	0,66	0,50	0,30
	$A < 1000$	1,6	1,0	0,80	0,72	0,60	0,40	0,22
16	$A \geq 1000$	1,45	1,0	0,86	0,79	0,70	0,56	0,38
	$A < 1000$	1,55	1,0	0,84	0,75	0,62	0,46	0,26
17	$A > 0$	1,5	1,0	0,87	0,80	0,70	0,56	0,40
18	$A > 0$	1,8	1,0	0,80	0,71	0,56	0,38	0,20
19	$A > 0$	1,45	1,0	0,90	0,78	0,72	0,60	0,45
20	$A \geq 100$	1,9	1,0	0,75	0,62	0,45	0,25	0,07
	$A < 100$		1,0	0,70	0,53	0,30	0,20	0,04
21	$A > 0$	(1,4)	1,0	(0,85)	(0,76)	(0,62)	(0,45)	(0,26)
22	$\bar{H}_b \geq 3000$	1,25	1,0	0,90	0,86	0,8	0,30	0,58
	$\bar{H}_b < 3000$	1,35	1,0	0,90	0,84	0,76	0,62	0,5
23	$A > 0$	(1,4)	1,0	(0,88)	(0,82)	(0,72)	0,80	(0,40)

Примечания:

1. Для районов № 4 и 11 значения $\lambda_{P\%}$ для водосборов площадью от 0,1 до 100 км² определяются интерполяцией.

2. Для районов 13 и 22 табличные значения $\lambda_{P\%}$ принимаются для любых площадей водосборов, а для остальных районов – для любых средних высот водосборов.

3. Значения $\lambda_{P\%}$, указанные в скобках, являются приближенными.

Продолжительность склонового добегаания $\tau_{ск}$, мин, принимается в зависимости от природных зон:

тундра и лесная зона:

при заболоченности	< 20 %	– 60
	20-40%	– 100
	>40%	– 150
лесостепная зона		– 60
степная зона и зона засушливых степей		– 30
полупустынная зона		– 10
горные районы		– 10

Таблица 3.26

Значения параметров m и m_p

Характеристика русла и поймы	Параметр m	Гидравлический параметр m_p , м/мин
Чистые русла постоянных равнинных рек; русла периодически пересыхающих водотоков (сухих лугов)	1/3	11
Извилистые, частично заросшие русла больших и средних рек; периодически пересыхающие водотоки, несущие во время паводка большое количество наносов	1/3	9
Сильно засоренные и извилистые русла периодически пересыхающих водотоков	1/3	7
Реки САИ и временные водотоки со средними уклонами $J_p \geq 35\%$	1/7	10

Таблица 3.27

Значения параметров φ_0 и n_5

Природная зона	Тип почв	Параметры в формулах в зависимости от типа почв, механический состав которых					
		глинистый и тяжелосуглинистый		среднесуглинистый и суглинистый		супесчаный, песчаный, меловой, трещиноватый	
		0	5	0	5	0	5
Лесотундра, лесная	Глеево-подзолистые на плотных породах (включая глеево-мерзлотно-таежные)	0,42	0,5	0,28	0,65	0,23	0,8
	Тундрово-глеевые, глеево-болотные, подзолистые, серые лесные	0,56	0,5	0,38	0,65	0,3	0,8
Лесостепная	Подзолистые, серые лесные, черноземы мощные, на плотных породах, светло- и темно-серые оподзоленные	0,66	0,6	0,54	0,7	0,27	0,9
	Черноземы выщелоченные, типичные, обыкновенные, южные, темно-каштановые	0,59	0,7	0,22	0,85	0,14	1
Степная и засушливых степей	Черноземы выщелоченные, типичные, южные	0,18	0,8	0,1	0,9	0,05	1
	Каштановые, сероземы малокарбонатные, карбонатные	0,29	0,9	0,14	0,9	0,12	1
	Такыровидные почвы	0,3	1	0,2	1	-	-

Задание 3.7.3

Определить расчетный максимальный расход дождевых вод 1 %-й обеспеченности р. Аткара (х. Безымянный) при отсутствии данных наблюдений и бассейна-аналога.

Исходные данные к заданию являются: площадь водосбора исследуемой реки; длина реки; средний уклон водосбора; средневзвешенный уклон русла реки; природная зона.

Порядок выполнения работы

Исходные данные: площадь водосбора р. Аткара, (х. Безымянный) $F = 90 \text{ км}^2$, длина реки от истока $L = 16 \text{ км}$ (при отсутствии данных длину реки определяют по зависимости $L = 1,36F^{0,56}$), средний уклон склонов $I_{СК} = 80 \text{ ‰}$; средневзвешенный уклон русла реки $I_p = 0,60 \text{ ‰}$, русло извилистое, частично заросшее, средняя длина склонов водосбора $l_{СК} = 0,30 \text{ км}$ ($F/2L$), зона – степная, почвы – чернозем южный среднесуглинистый.

1. Подставляя найденные значения параметров, а также значения F и $I_{СК}$ в формулу (3.66), получают:

$$\varphi = [1,3 \cdot 0,1 / (90 + 1)^{0,11}] (80 / 50)^{0,90} = 0,12$$

2. Определяют по формуле (3.65) гидроморфометрическую характеристику русла реки Φ_p . Значения параметров принимают следующими: $m_p = 9$; $m = 1/3$; $I_p = 0,60 \text{ ‰}$; максимальный суточный слой осадков обеспеченностью $P = 1 \text{ ‰}$ для р. Аткары согласно карте максимального суточного слоя осадков (рис. 3.12) равен $H_{1\%} = 100 \text{ мм}$, отсюда $\varphi H_{1\%} = 0,12 \cdot 100 = 12$; тогда

$$\Phi_p = 1000 \cdot 16 / [9 \cdot 0,6^{0,33} \cdot 90^{0,25} \cdot 12^{0,25}] = 369,4$$

3. Принимая продолжительность склонового добега в степной зоне $\tau_{СК} = 30 \text{ мин}$ и зная величину Φ_p , определяют по табл. 3.24 $q_{1\%} = 0,0084$.

Коэффициент $\delta = 1$, т.к. $f'_{оз} = 0$; $\lambda_p = 1$, т.к. необходимо определить расход обеспеченностью 1%.

Подставляя в формулу (3.64) найденные параметры, вычисляем расчетный расход

$$Q_{1\%} = 0,0084 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 90 = 9,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

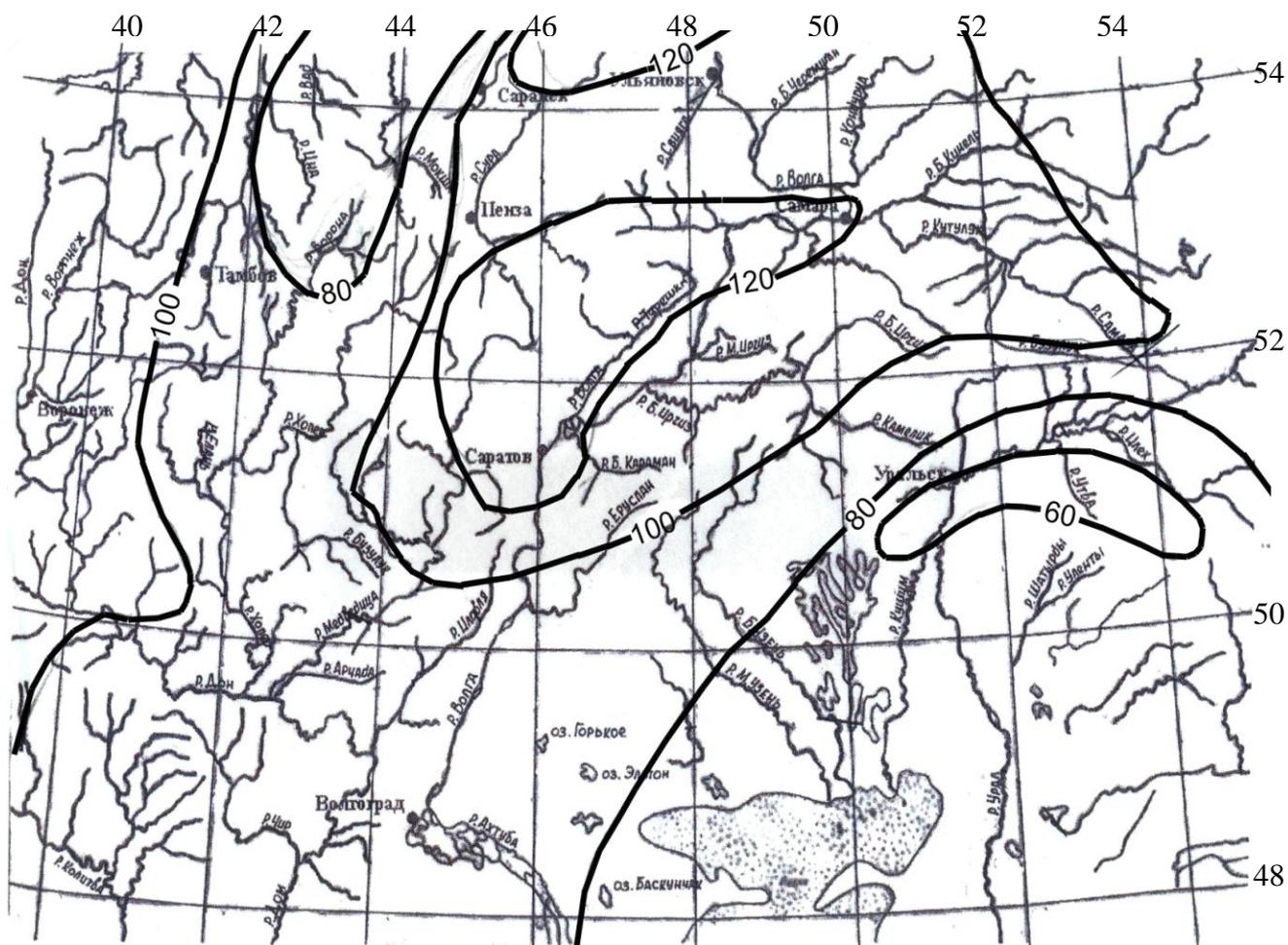


Рис. 3.12. Карта максимального суточного слоя осадков $H_{1\%}$

3.7.4. Расчетные гидрографы стока воды рек весеннего половодья и дождевых паводков

Расчетные гидрографы стока воды весеннего половодья и дождевых паводков необходимы при проектировании водохранилищ, отводе вод от сооружений в период их строительства, расчете затопления пойм и лиманов, пропуске высоких вод через дорожные и другие искусственные сооружения.

Форма расчетных гидрографов принимается по моделям наблюдаемых высоких весенних половодий или дождевых паводков с наиболее неблагоприятной их формой, для которых основные элементы гидрографов и их соотношения должны быть близки к расчетным.

Для расчета отверстий дорожных и других искусственных сооружений допускается принимать схематизацию гидрографов стока воды рек весеннего половодья и дождевых паводков по геометрическим формам.

Гидрографы речного стока следует рассчитывать по равнообеспеченным значениям максимального расхода воды, объема стока воды основной волны и объема всего весеннего половодья (дождевого паводка) расчетной вероятности превышения.

Расчетные гидрографы стока воды рек определяются:

а) для весеннего половодья – по среднесуточным расходам воды; гидрографы внутрисуточного хода стока воды рассчитываются, если значение максимального мгновенного расхода воды в 1,5 раза больше соответствующего ему среднесуточного расхода воды;

б) для дождевых паводков – по мгновенным расходам воды.

Выбор метода построения расчетного гидрографа и натурной модели зависит от задач, для решения которых он используется:

а) при проектировании гидротехнических объектов с относительно небольшой регулирующей емкостью водохранилища используется модель одноволнового гидрографа с наибольшим максимальным расходом воды;

б) при больших регулирующих емкостях, сопоставимых с полным объемом половодий (паводков), используется модель с наибольшим объемом половодья (паводка) и наибольшей сосредоточенностью стока в центральной части гидрографа;

в) для рек с многовершинными гидрографами следует выбирать такую модель из числа многоводных лет, в которой наибольшая волна после короткого промежутка следует за меньшей волной;

г) при каскаде водохранилищ строится расчетный гидрограф притока к верхнему гидроузлу и гидрографы боковой приточности между гидроузлами. При этом выбирается модель, общая для всего каскада;

д) для развитых систем инженерной защиты, включающих наряду с водохранилищами обвалование, регулирование русла реки и другие мероприя-

тия, строятся расчетные гидрографы во входном створе на основной реке и гидрографы боковой приточности на всем протяжении инженерной защиты по общей для всей системы модели.

При построении расчетных гидрографов необходимо всесторонне проанализировать формирование и режим половодий и паводков, их происхождение, вероятность повторного прохождения паводков.

Основные элементы расчетного гидрографа стока воды рек: максимальный расход воды, объем весеннего половодья (дождевого паводка), объем основной волны расчетной вероятности превышения, а также боковая приточность определяются по данным гидрометрических наблюдений.

Общая продолжительность весеннего половодья для больших и средних рек, включая дождевые паводки на спаде половодья, принимается одинаковой для всех лет и створов, как на основной реке, так и на притоках при условии включения в ее пределы продолжительности всех половодий.

Назначение периода общей продолжительности весеннего половодья допускается принимать переменным для разных лет, но одинаковым по длине реки.

Продолжительность основной волны, включающей максимальную ординату, следует принимать постоянной в подвижных границах для всех лет исходя из условия наибольшего объема стока (притока) за принятый период.

Расчет гидрографов весеннего половодья (дождевого паводка) выполняется следующими методами:

а) переходом от гидрографа-модели к расчетному гидрографу путем умножения ординат гидрографа-модели на коэффициенты, определяемые по формулам:

$$k_1 = Q_p / Q_m, \quad (3.67)$$

$$K_2 = (V_p - Q_p \cdot 86400) / (V_m - Q_m \cdot 86400), \quad (3.68)$$

$$k_3 = (V'_p - V_p) / (V'_m - V_m), \quad (3.69)$$

где Q_m , Q_p – соответственно для гидрографа-модели и расчетного гидрографа максимальный среднесуточный расход воды весеннего половодья

или мгновенный для дождевого паводка, м³/с; V_m и V_p - соответственно для гидрографа-модели и расчетного гидрографа объем основной волны, м³; V'_m и V'_p - соответственно для гидрографа-модели и расчетного гидрографа полный объем весеннего половодья (дождевого паводка), м³;

б) переходом от гидрографа модели к расчетному гидрографу с применением коэффициента k_I , определяемого по формуле (3.67), и коэффициента k_t , определяемого по формуле

$$k_t = (q_m / h_m) (h_p / q_p), \quad (3.70)$$

где q_m , q_p - соответственно для гидрографа-модели и расчетного гидрографа модуль максимального среднесуточного расхода воды, м³/(с км²); h_m , h_p - соответственно для гидрографа-модели и расчетного гидрографа слой стока весеннего половодья (дождевого паводка), мм.

Переход от гидрографа-модели к расчетному возможен только при соблюдении условий: гидрографу по методу, указанному в пункте б),

$$\gamma_p = \gamma_m; k_{s,p} = k_{s,m} \quad (3.71)$$

где γ_m , γ_p - соответственно для гидрографа-модели и расчетного гидрографа коэффициент полноты γ , определяемый по формуле

$$\gamma = qt / 0,0116h; \quad (3.72)$$

$k_{s,m}$, $k_{s,p}$ - соответственно для гидрографа-модели и расчетного гидрографа коэффициент несимметричности, определяемый по формуле:

$$K_s = h_n / h, \quad (3.73)$$

q - модуль максимального среднего суточного расхода воды; h - слой стока воды весеннего половодья (дождевого паводка), мм; t - продолжительность весеннего половодья (дождевого стока), сут.; h_n - слой стока за период подъема весеннего половодья (дождевого паводка), мм.

Координаты расчетного гидрографа определяются в зависимости от коэффициентов k_I и k_t по формулам:

$$Q_i = Q_{i,m}k_1, \quad (3.74)$$

$$t_i = t_{i,m}k_2, \quad (3.75)$$

где $Q_{i,m}$, Q_i - соответственно для гидрографа-модели и расчетного гидрографа расходы воды в i -тую единицу расчетного времени; $t_{i,m}$ и t_i - соответственно для гидрографа-модели и расчетного гидрографа ордината времени.

За начало отсчета времени $t_{i,m}$ принимается начало подъема весеннего половодья (дождевого паводка).

Определение гидрографов внутрисуточного хода стока следует производить также как это изложено при расчете гидрографа стока весеннего половодья (дождевого паводка) в данном разделе. В данном случае обозначения в формулах (3.70– 3.72) принимаются следующие: q_m , q_p – соответственно для гидрографа-модели и расчетного гидрографа модуль максимального мгновенного расхода воды, м³/(с км²); h_m , h_p - соответственно для гидрографа-модели и расчетного гидрографа максимальный суточный слой стока весеннего половодья, мм; h_n – слой стока за период подъема максимальной суточной волны весеннего половодья, мм; t – продолжительность максимальной суточной волны весеннего половодья, сутки и менее.

3.8. Минимальный сток рек

Минимальный, или наиболее низкий, сток наблюдается, когда река переходит на грунтовое питание, обычно в период зимней или летне-осенней межени.

В распределении минимального стока по территории проявляется климатическая зональность: уменьшение в направлении с севера на юг по мере усиления засушливости климата. Кроме климата, на величину минимального стока влияют почвенно-геологические и гидрологические факторы, наличие в бассейне озер, лесов, болот, а также размер бассейна - его увеличение способствует увеличению минимального стока.

Расчет минимальных расходов воды необходимо проводить для обеспечения бесперебойного водоснабжения, орошения и обводнения, целей судостроения и энергетики.

Расчетная обеспеченность минимальных расходов принимается при проектировании орошения равной 85%, гидроэлектростанций - 90 %, водоснабжения - 95-97 %.

При наличии длительных гидрометрических наблюдений расчетные минимальные расходы воды находят так же, как и расчетные годовые и максимальные расходы (см. п. 3.4 и 3.7.1).

При значительных расхождениях аналитической кривой и фактических данных в нижней части – резкое отклонение одной–двух последних точек, обусловленное физическими причинами, применяют эмпирические кривые обеспеченности. Такие кривые имеют достаточно плавный вид в основной части и резкий изгиб в нижней. Обычно он приходится на зону обеспеченности в 90–97 %.

При наличии нулевых расходов воды в ряду наблюдений расчеты производятся с использованием составных кривых распределения, а в случае несоответствия полученной аналитической кривой наблюдаемым значениям – по эмпирической кривой вероятности превышения.

Для расчетов используют минимальные среднесуточные, среднемесячные или 30–суточные (не календарные) расходы воды, наблюдавшиеся в зимний и (или) летне-осенний сезоны.

Среднемесячные минимальные расходы используются, если они не превышают 30–суточные более чем на 10 %, иначе применяются расходы воды средние за 30 непрерывных суток с наименьшим стоком в рассматриваемом сезоне. При частых паводках и коротких межпаводочных периодах 30–суточный период допускается сокращать до 24 суток, чтобы максимально избежать включения паводковых вод в период минимального стока.

Минимальный суточный расход воды обычно совпадает с 30–суточным (среднемесячным) периодом минимального стока. Однако на реках с часты-

ми паводками их сроки могут значительно различаться.

Минимальный среднемесячный (календарный) расход воды рекомендуется использовать в расчетах, когда рассматривается сток за зимний сезон для рек, находящихся восточнее границы: Ладожское озеро – верховья рек Днепра и Оки – среднее течение Дона – устье Волги; или сток за летне-осенний сезон для рек, расположенных южнее границы Санкт Петербург – Пермь – Магнитогорск – Тюмень – Новосибирск – Барнаул, исключая реки Северного Кавказа. Для остальных районов в расчетах следует использовать минимальные 30-суточные расходы воды.

При отсутствии данных наблюдений минимальные 30-суточные (среднемесячные) расходы воды 80 %-й обеспеченности за зимний и летне-осенний периоды для средних и больших рек определяются по рекам-аналогам или интерполяцией между изолиниями по картам минимального стока (рис. 3.13 и 3.14). Изолинии даны в модулях стока q , л/с·км². точность определения по картам минимального стока составляет в среднем $\pm 10...20\%$.

Картографический материал, необходимый для вычисления расчетных минимальных расходов, включает карты:

- минимального 30-суточного зимнего стока обеспеченностью $P = 80\%$ (I) (рис. 3.13);

- минимального 30-суточного летне-осеннего стока рек обеспеченностью $P = 80\%$ (II) (рис. 3.14);

- районирования параметров для определения минимального 30-суточного расхода воды 80 %-й обеспеченности на малых реках в летне-осенний период (III) (рис. 3.15);

- районирования параметров для определения минимального 30-суточного расхода воды 80 %-й обеспеченности на малых реках в зимний период (IV) (рис. 3.16);

- районирования переходных коэффициентов λ_p для определения минимальных расходов воды различной обеспеченности (V) (рис. 3.17);

- районирования коэффициента K для определения средне-суточного расхода воды 80 %-й обеспеченности в летне-осенний и зимний



периоды (VI) (рис. 3.18).

Рис. 3.13. Карта минимального 30-суточного расхода воды 80 %-й обеспеченности за зимний период (I)

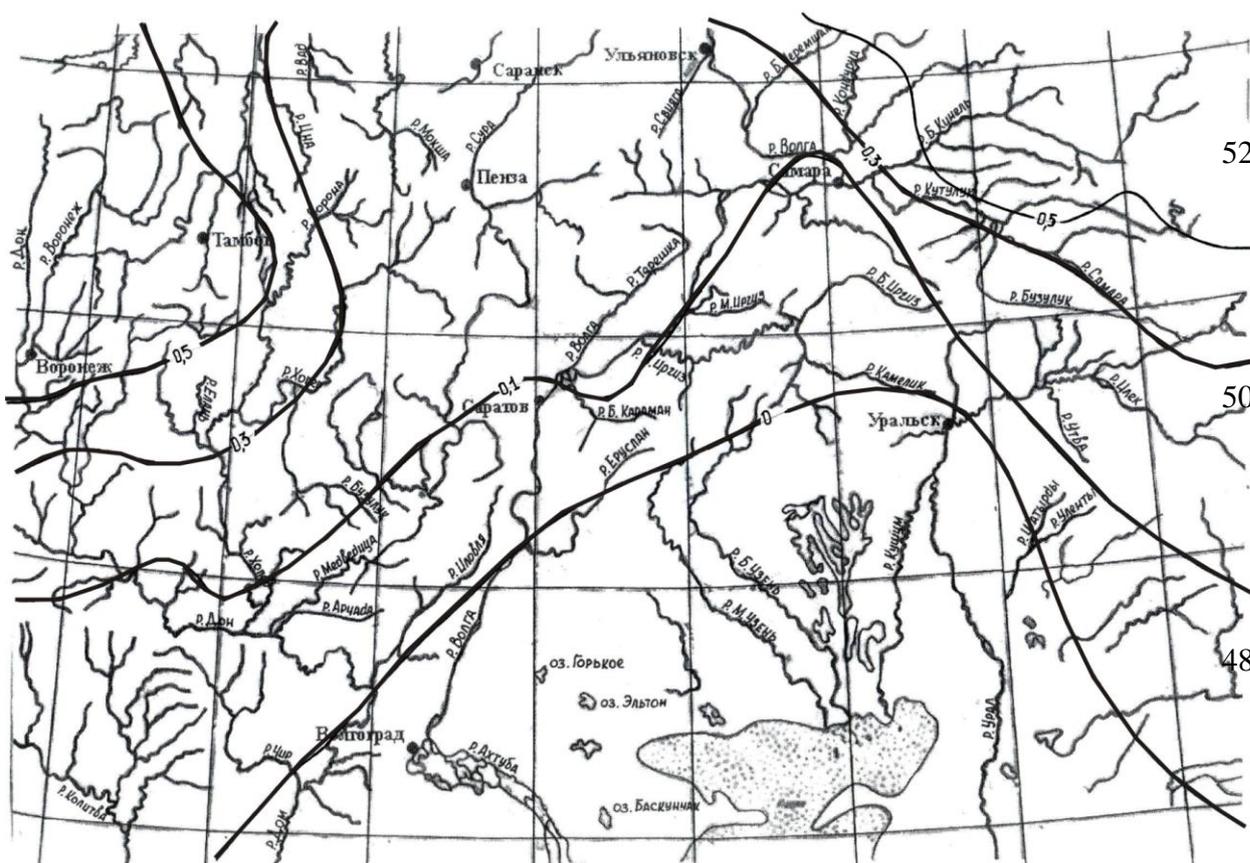
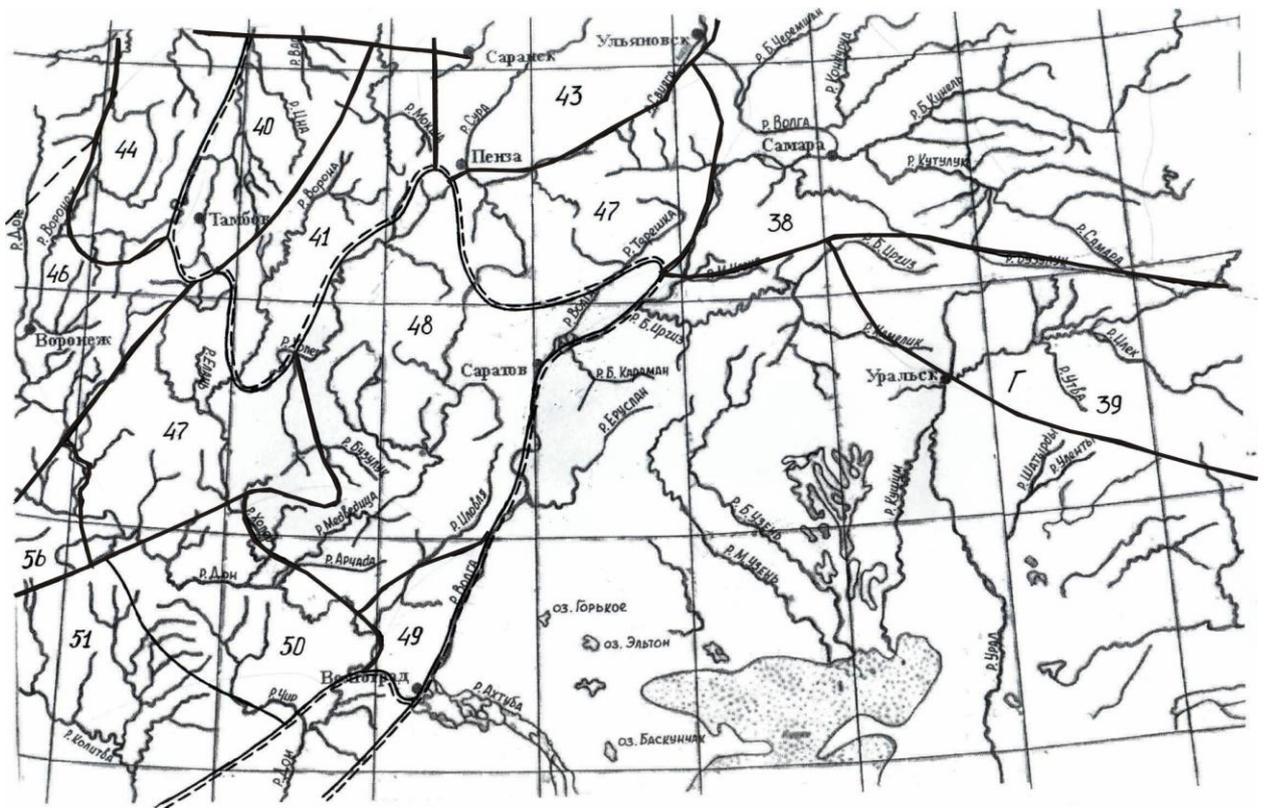


Рис. 3.14. Карта минимального 30-суточного расхода воды 80 %-й 54



40 46 обеспеченности за летне-осенний период (II) 54 54

Рис. 3.15 Карта районирования параметров для определения минимального 30-суточного расхода воды 80 %-й обеспеченности на малых реках в летне-осенний период (III)

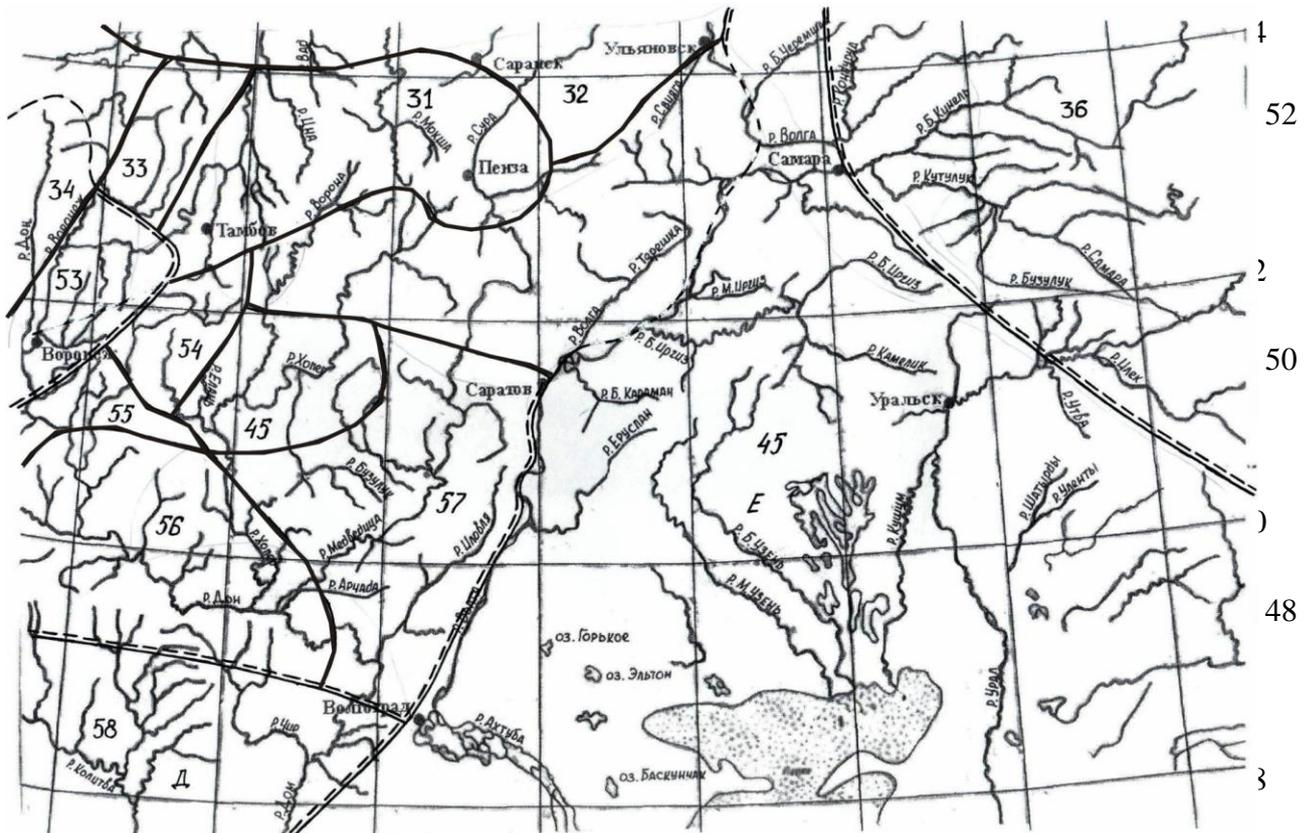


Рис. 3.16. Карта районирования параметров для определения минимального 30-суточного расхода воды 80 %-й обеспеченности на малых

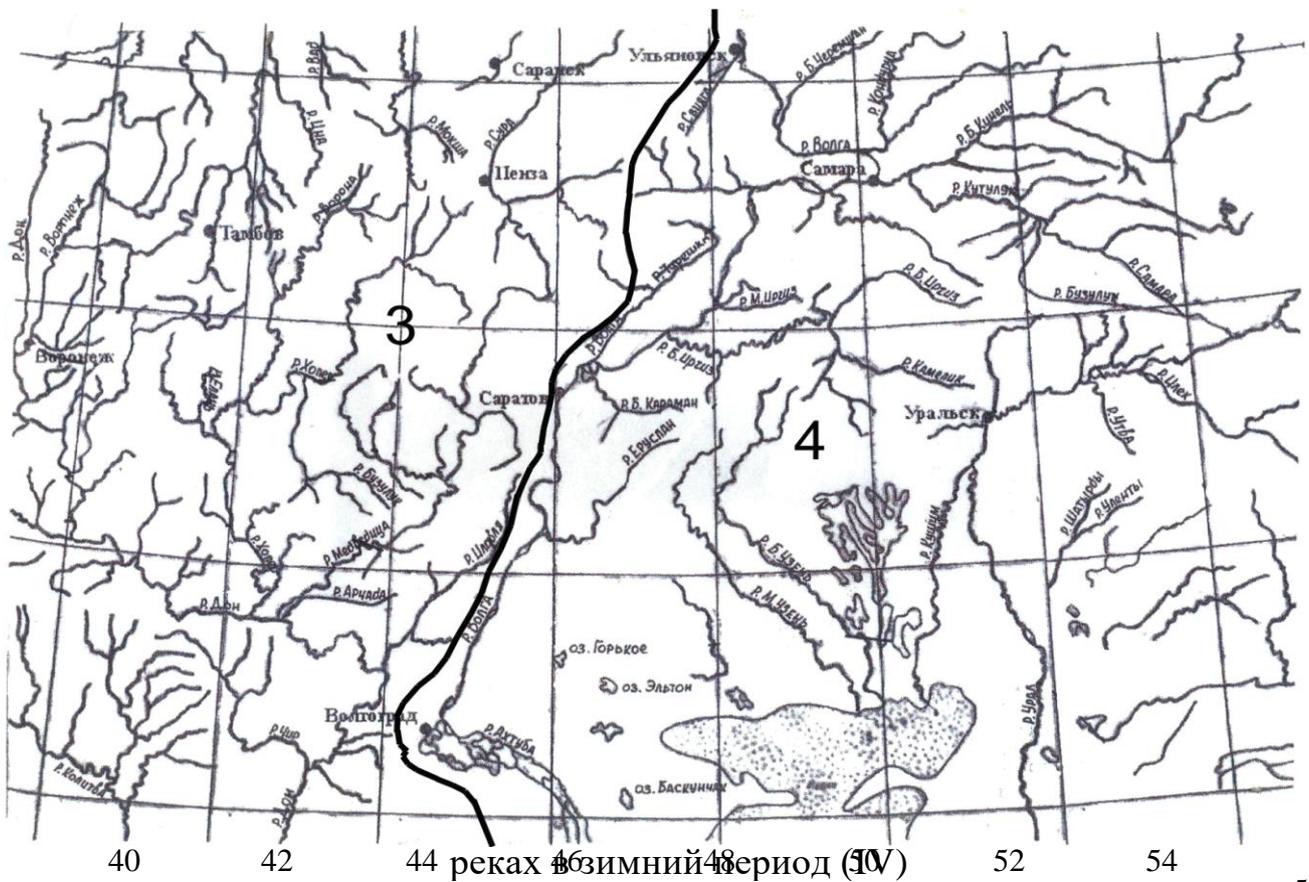
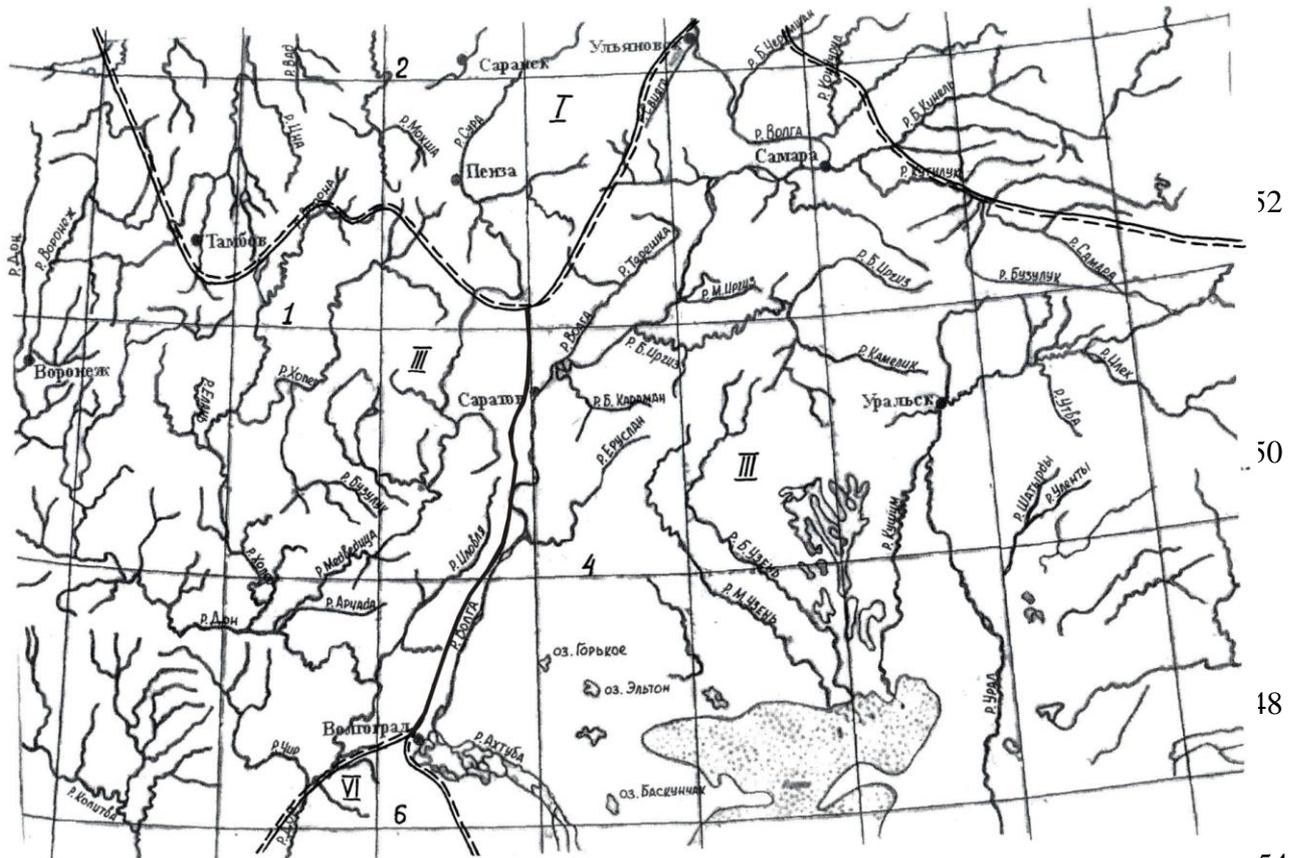


Рис. 3.17. Карта районирования переходных коэффициентов λ_p для опре-⁵⁴



деления минимальных расходов воды различной обеспеченности (V)

Рис. 3.18. Карта районирования коэффициента K для определения среднесуточного расхода воды 80 %-й обеспеченности в летне-осенний и зимний периоды (VI)

Переходные коэффициенты λ_p от 30-суточных (среднемесячных) расходов воды 80%-й обеспеченности к минимальным расходам других обеспеченностей устанавливаются по рекам-аналогам. В практике проектирования значения $\lambda_{p\%}$ определяются по табл. 3.28 в зависимости от районов по карте V.

Таблица 3.28

Переходные коэффициенты $\lambda_{p\%}$ для определения минимальных 30-суточных расходов воды различной вероятности превышения

Район по карте					Вероятность превышения, %				
					75	80	90	95	97
				I	1,04	1,00	0,95	0,87	0,83
				II	1,05	1,00	0,87	0,80	0,75
40	42	44	46	48	III	1,06	1,00	0,86	0,78
				IV	1,06	1,00	0,83	0,71	0,62
				V	1,09	1,00	0,80	0,63	0,64
				VI	1,14	1,00	0,73	0,56	0,44
Бассейн р. Лены до впадения р. Олекмы* ($F = 1000 \text{ км}^2$)					1,05	1,00	0,66	0,42	0,33
Эпизодически пересыхающие и перемерзающие реки					1,20	1,00	0,45	0,15	0,0
Бассейн рек Иртыш, Ишим, Тобол					1,20	1,00	0,56	0,35	0,0

* Для определения летнего минимального стока воды

Для малых рек с площадью водосбора $F < 2000 \text{ км}^2$ минимальный 30-суточный расход воды 80%-й обеспеченности для зимнего или летнего периода, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q_{80\%} = 0,001\alpha(F + f_0)^n, \quad (3.76)$$

где α, f_0, n – параметры, определяемые в зависимости от географических районов (см. табл. 3.29).

Задание 3.8.1

Рассчитать минимальный 30-дневный (среднемесячный и среднесуточный) расход 75 %-й обеспеченности за летне-осенний период р. Медведица (р.п. Лысые Горы).

В качестве исходных данных для выполнения задания имеется площадь водосбора реки $F = 7610 \text{ км}^2$, т.е. р. Медведица имеет площадь водосбора более 2000 км^2 , но менее 75000 км^2 , и относится к средним рекам.

Порядок расчета минимальных расходов для средних водосборов

1. По карте изолиний (II) (рис. 3.14) определяют минимальный 30-дневный модуль стока 80 %-й обеспеченности для центра тяжести бассейна путем интерполяции между изолиниями.

2. Значение минимального 30-суточного модуля стока $q_{80\%}$, л/с·км², переводят в 30-суточный расход, м³/с обеспеченностью 80 %:

$$Q_{80\%} = q_{80\%} F / 10^3, \quad (3.77)$$

3. Минимальный расход расчетной обеспеченности равен:

$$Q_{p\%} = Q_{80\%} \cdot \lambda_{p\%} \quad (3.78)$$

где $\lambda_{p\%}$ - переходный коэффициент от обеспеченности 80 % к другой обеспеченности (принимаются по табл. 3.28) в зависимости от районов на карте (V) (рис. 3.17).

4. Согласно карте (II) (рис. 3.14) 30-суточный модуль летне-осеннего стока $P = 80 \%$ для центра расчетного бассейна р. Медведицы $q_{80\%} = 0,1 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$.

Используя формулу (3.77) рассчитываем минимальный 30-дневный расход воды 80 %-й обеспеченности:

$$Q_{80\%} = 0,1 \cdot 7610 / 10^3 = 0,76 \text{ м}^3/\text{с}.$$

По карте (V) (рис. 3.17) определяем, что река находится в 3 районе и, следовательно, согласно табл. 3.28 $\lambda_{p\%} = 1,06$.

Тогда используя выражение (3.78) вычисляем минимальный 30-дневный расход обеспеченности $P = 75\%$:

$$Q_{75\%} = 0,76 \cdot 1,06 = 0,80 \text{ м}^3/\text{с}$$

5. Для определения среднесуточного расхода обеспеченности $P = 75\%$ используют уравнение:

$$Q'_{75\%} = \lambda_{75\%} \cdot Q'_{80\%}, \quad (3.79)$$

где

$$Q'_{80\%} = K \cdot Q_{80\%} \quad (3.80)$$

Коэффициент K для 1-го района (карта VI) (рис. 3.18) по табл. 3.29 равен 0,90. Отсюда

$$Q'_{80\%} = 0,90 \cdot 0,76 = 0,68 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q'_{75\%} = \lambda_{75\%} \cdot Q'_{80\%} = 1,06 \cdot 0,68 = 0,72 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Таблица 3.29

Значения коэффициента K для определения минимального среднесуточного расхода воды 80 %-й обеспеченности

Номер района по карте (VI)	K – для зимнего периода	K – для летнего периода
I (1)	0,90	0,90
II (2)	0,84	0,85
III (3)	0,74	0,80
IV (4)	0,64	0,74
V (5)	0,53	0,64
VI (6)	0,41	0,52
VII (7)	0,25	0,45
– (8)	–	0,38

Примечание: 2- номер для летне-осеннего периода; II - номер для зимнего периода.

Задание 3.8.2

Рассчитать минимальный 30-дневный расход 75 %-й обеспеченности за летне-осенний период р. Аткара (г. Аткарск).

В качестве исходных данных имеется площадь бассейна р. Аткара в створе г. Аткарска $F = 1030 \text{ км}^2$, т.е. реку в этом месте нужно отнести к малым рекам.

Порядок расчета минимальных расходов для малых водосборов

1. По карте (III) (рис. 3.15) определяем номер района бассейна р. Аткары (г. Аткарск) 48-й. Параметры α , n и f_0 для летне-осеннего периода в данном районе согласно табл. 3.30 равны: $\alpha=0,09$; $n = 1,06$; $f_0 = -200$.

2. Используя выражение (3.76) определяем минимальный 30-суточный расход воды 80%-й обеспеченности для зимнего или летнего периода, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q_{80\%} = 0,001\alpha(F + f_0)^n = 0,001 \cdot 0,09(1030-200)^{1,05} = 0,10 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3. По карте (V) (рис. 3.17) определяем, что нужный участок бассейна реки находится в 4-м районе и $\lambda_{75\%} = 1,06$. Следовательно, минимальный 30-дневный расход 75 %-й обеспеченности за летне-осенний период равен

$$Q_{75\%} = Q_{80\%}\lambda_{75\%} = 0,10 \cdot 1,06 = 0,11 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Таблица 3.30

Значения параметров α , n , f_0

Номер района по картам (III) и (IV)	Зимний период			Летне-осенний период		
	α	n	f_0	α	n	f_0
1	2	3	4	5	6	7
1	0,00004	2,46	0	2,0	1,0	0
2	0,056	1,49	0	10,3	0,88	0
3	0,76	1,19	0	0,56	1,04	0
4	0,56	1,04	0	0,05	1,44	0
5	0,0052	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	1,005	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
11	0,20	1,28	0	0,11	1,28	0
12	0,076	1,30	0	0,62	1,18	0
13	0,71	1,12	0	0,058	1,50	0
14	0,058	1,50	0	1,46	0,66	0
15	1,86	0,44	0	1,84	0,98	0
16	0,82	1,08	0	0,022	1,53	0
17	0,012	1,61	0	0,026	1,63	0
18	0,0013	2,00	0	0,0004	1,30	0
19	0,0009	1,03	0	0,25	1,30	0
20	2,19	1,00	0	0,60	1,00	100
21	1,23	1,07	0	0,033	1,09	0
22	0,87	1,11	0	0,09	1,33	0
23	0,12	1,35	0	0,12	1,26	0
24	0,53	1,17	0	0,12	1,32	0
25	0,11	1,29	0	0,068	1,25	0
26	0,29	1,17	0	0,025	1,44	0
27	0,22	1,40	0	3,55	0,98	0
28	0,23	1,27	0	0,12	1,33	0
29	0,72	1,14	0	2,05	1,02	0
30	0,54	1,10	0	0,40	1,08	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
35	1,00	0,97	0	1,50	0,80	-709
36	0,11	1,13	0	0,40	1,05	-100
37	4,35	0,82	0	5,25	0,81	0
38	0,08	1,44	0	1,04	0,87	-110
39	0,07	1,40	0	0,016	1,11	-50
40	0,14	1,12	0	0,19	1,27	0
41	0,08	1,26	0	1,38	0,94	0
42	0,008	1,17	-200	0	0	0

43	0,02	1,28	-1000	0,02	1,49	0
44	1,00	0,78	0	0,003	1,28	-100

продолжение табл. 3.30

1	2	3	4	5	6	7
45	0	0	0	0,32	1,14	0
46	0,067	1,35	0	0,01	1,33	-50
47	0,024	1,38	0	0,002	1,12	-500
48	0,05	1,24	0	0,090	1,05	-200
49	0,024	1,43	0	0,0001	1,93	-200
50	0,41	1,02	0	0,030	1,06	-500
51	0,07	1,20	0	0,040	1,09	0
52	1,8	0,91	0	0,020	1,10	-1000
53	0,02	1,30	0	0,17	0,90	-150
54	0,20	0,96	-400	0,28	0,94	0
55	0,044	1,17	0	0,64	1,00	-70
56	0,007	1,30	0	0,007	1,51	-200
57	0,43	0,74	-800	0,14	1,66	-200
58	0,10	0,90	-500	0,26	1,00	0
59	11,8	0,43	0	0,23	1,24	0
60	0,14	0,94	0	0,040	1,38	0
61	2,46	0,73	0	2,02	0,90	0
62	3,90	0,72	0	0,64	1,15	0
63	0,88	0,85	-1000	2,38	1,05	0
64	0,70	0,84	-160	2,80	1,12	0
65	1,40	0,76	0	0,93	1,12	0
66	1,36	0,55	-150	0,008	1,37	0
67	0,15	1,08	0	0,040	1,30	0
68	5,90	0,50	-100	0,24	0,85	-950
69	0,84	1,04	0	1,13	0,75	0
70	3,10	0,73	0	1,14	0,88	0
71	0,10	1,34	0	0,011	1,31	0
72	0,06	1,48	0	0,82	1,05	0
73	1,42	1,16	-20	1,81	0,82	-15
74	9,74	0,94	0	0,063	1,20	-50
75	1,80	0,87	-180	0,13	1,00	0
76	0,054	1,37	0	4,20	0,70	0
77	0,018	1,34	-150	0,027	1,23	0
78	12,2	0,72	-10	0,10	1,32	0
79	6,05	0,69	-30	3,15	1,04	0
80	2,54	0,64	-60	5,10	0,94	0
81	0,98	1,00	0	0,30	0,78	-900
82	0,34	1,06	0	0,90	1,11	-200
83	0,080	1,11	0	2,86	0,77	0
84	0,65	1,00	0	1,85	0,82	-800
85	4,00	0,88	0	1,10	0,79	-400
86	0,030	1,20	0	0,050	1,00	-1000
87	0,67	0,90	-200	2,03	0,74	-500
88	0,45	1,00	0	1,12	1,00	0
89	1,95	0,98	0	0,045	1,36	0
90	5,32	0,92	0	0,26	1,18	0
91	0,30	1,04	0	0,54	1,39	0
92	2,69	0,74	0	0,14	1,03	-300
93	0,014	1,11	-900	0,15	1,15	0
94	0,007	1,28	-500	0,82	1,06	0
95	0,13	1,06	0	26,5	0,68	0
96	0,004	1,68	-33	0,59	1,15	0
97	0,058	1,30	0	0,55	1,12	0
98	0,22	1,20	0	0,016	1,47	0
99	0,25	1,32	0	0,55	1,06	0
100	0,028	1,15	-100	0,13	1,47	0
101	0,82	1,13	0	1,42	1,18	0

102	0,10	1,26	0	1,72	1,04	0
103	0,30	1,20	0	0,44	1,17	0
104	0,027	1,43	-380	9,20	0,95	0

продолжение табл. 3.30

1	2	3	4	5	6	7
105	6,67	0,82	0	0,98	1,04	0
106	0,044	1,28	-420	2,47	1,06	0
107	0,21	1,16	-280	0,060	1,36	-60
108	1,00	0,90	0	0,004	1,68	0
109	0,36	1,18	0	17,1	0,97	-300
110	0,080	1,29	-100	0,20	1,09	0
111	0,23	1,29	0	1,88	1,17	-150
112	0,010	1,93	0	0,73	1,12	0
113	4,73	1,09	0	0,077	1,32	0
114	2,02	1,11	-1000	1,59	1,06	0
115	8,72	0,97	0	0,84	1,10	0
116	0,75	1,16	-20	1,06	1,06	0
117	0,062	1,08	-270	1,74	1,12	0
118	0,080	1,82	0	2,76	1,26	0
119	0,004	1,50	-200	2,10	1,14	0
120	0,11	1,22	0	15,6	0,95	0
121	0,78	1,07	0	27,1	0,94	0
122	0,28	0,83	0	51,1	0,84	0
123	0,041	1,29	-100	3,82	0,96	-300
124	1,25	0,88	0	0,24	1,11	0
125	0,55	0,94	-200	24,6	0,66	0
126	0,51	1,07	0	6,38	0,90	0
127	0,98	1,07	0	0,62	1,21	0
128	0,15	1,12	-768	0,02	1,58	0
129	0,44	1,13	0	0,9	1,16	0
130	95,5	0,63	0	3,92	0,9	0
131				7,35	1,00	-200
132				4,44	1,15	0
133	8,25	0,66	-380	6,60	0,98	0
134	31,5	0,64	0	78,0	0,52	-35
135	8,93	0,72	-60	17,8	0,90	0
136	0,12	1,05	-1000	3,22	1,08	0
137	0,00024	1,56	-109	0,041	8,81	0
138	0,34	1,24	0	11,8	0,96	0
139	4,00	1,03	-193	5,75	1,03	0
140	0,020	1,43	0			
141	1,11	0,74	0			
142	0,18	1,03	-351			
143	0,028	1,25	0			
144	1,73	0,86	-1000			
145	0,025	1,49	-190	0,32	1,26	0
146				2,08	1,12	0
147				1,02	1,09	0
148				0,65	1,06	0
149				0,070	1,22	0
150				0,14	1,08	0
151				1,50	0,92	0
152				2,20	1,13	0
153						
154						
155				9,75	1,04	0
156				1,02	1,09	0
157				0,24	1,44	0

продолжение табл. 3.30

1	2	3	4	5	6	7
				1,5	1,08	0
				Реки с повышенной налед- ностью		
				15	0,86	0
				Реки, промерзающие эпизо- дически		
				2,3	1,08	0
159				10	0,91	0

Примечание: Для районов № 131, 132 зимний и районов № 140-144, 153-154 летний 30суточный сток вероятности превышения рассчитывается по формуле $q_{30} = \alpha H^n$, где параметры α и n следующие:

Номер района по картам (III) и (IV)	Зимний период		Летне-осенний период	
	α	n	α	n
131	1,75	2,98	7,35	1,00
132	6,5	-7,29	4,44	1,15
140	0,020	1,43	0,56	2,97
141	1,11	0,74	1,25	3,5
142	0,18	1,03	0,23	2,97
143	0,028	1,25	1,6	5,4
144	1,73	0,86	9,12	2,2
153			15	1,45
154			9,33	0,84

ЛИТЕРАТУРА

1. Водный кодекс РФ от 03.06.2006 № 74-ФЗ., 2007 – 58 с.
2. Дружинин В.С., Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – СПб.: ИЗД. РГГМУ. 2001. – 168 с.
3. Железняков Г.В., Овчаров Е.Е. Инженерная гидрология и регулирование стока. М.: Колос, 1993. – 464 с.
4. Лосев А.П. Агрометеорология / А.П. Лосев, Л.Л. Журкина. – М.: изд. «Колос», 2001. – 280 с.
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. – Ч. 1 – 6. Вып. 12 – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 647 с.
6. Орлов В.Г., Сикан А.В. Основы инженерной гидрологии. Учебное пособие. – СПб.: изд. РГГМУ. 2003. – 187 с.
7. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004. – 72 с.
8. Чирков Ю.И. Основы агрометеорологии / Ю.И. Чирков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 248 с.

Приложения

Психрометрические таблицы

t – температура сухого термометра, °С e – абсолютная влажность, мб
 t' – температура смоченного термометра, °С r – относительная влажность, %
 d – дефицит влажности, мб n – поправочное число

t t'	e	r	d	n	t t'	e	r	d	n
	5					6			
-1,0	0,9	10	7,8	19	0,0	1,3	14	8,1	19
0,0	2,1	25	6,6	16	1,0	2,6	28	6,8	15
1,0	3,4	39	5,3	12	2,0	3,9	41	5,5	12
2,0	4,7	54	4,0	9	3,0	5,2	56	4,2	9
3,0	6,0	68	2,7	6	4,0	6,5	70	2,9	6
4,0	7,3	84	1,4	3	5,0	7,5	85	1,5	3
5,0	8,7	100	0,0	0	6,0	9,4	100	0,0	0
t t'	7				t t'	8			
0,0	0,6	5	9,4	22	1,0	1,0	9	9,7	21
1,0	1,8	18	8,2	18	2,0	2,3	21	8,4	18
2,0	3,1	31	6,9	15	3,0	3,6	34	7,1	15
3,0	4,4	44	5,6	12	4,0	4,9	46	5,8	11
4,0	5,8	57	4,2	9	5,0	6,3	59	4,4	8
5,0	7,1	71	2,9	6	6,0	7,8	72	2,9	5
6,0	8,6	85	1,4	3	7,0	9,2	86	1,5	3
7,0	10,0	100	0,0	0	8,0	10,7	100	0,0	0
t t'	9				t t'	10			
2,0	1,5	13	10,0	21	3,0	2,0	16	10,3	20
3,0	2,8	24	8,7	17	4,0	3,4	27	8,9	17
4,0	4,2	36	7,3	14	5,0	4,8	39	7,5	14
5,0	5,5	48	6,0	11	6,0	6,2	50	6,1	11
6,0	7,0	61	4,5	8	7,0	7,6	62	4,7	8
7,0	8,4	73	3,1	5	8,0	9,1	74	3,2	5
8,0	9,9	87	1,6	3	9,0	10,7	87	1,6	3
9,0	11,5	100	0,0	0	10,0	12,3	100	0,0	0
t t'	11				t t'	12			
3,0	1,2	9	11,9	23	3,0	0,4	3	13,6	26
4,0	2,6	20	10,5	20	4,0	1,8	13	12,2	22

5,0	4,0	30	9,1	16	5,0	3,2	23	10,8	19
6,0	5,4	41	7,7	13	6,0	4,6	33	9,4	16
7,0	6,8	52	6,3	10	7,0	6,0	43	8,0	13
8,0	8,3	64	4,8	8	8,0	7,5	54	6,5	10
9,0	9,9	75	3,2	5	9,0	9,1	65	4,9	7
10,0	11,5	88	1,6	2	10,0	10,7	76	3,3	5
11,0	13,1	100	0,0	0	11,0	12,3	88	1,7	2
					12,0	14,0	100	0,0	0

$t' \backslash t$	13				$t' \backslash t$	14			
4,0	1,0	7	14,0	25	5,0	1,6	10	14,4	24
5,0	2,4	16	12,6	22	6,0	3,0	19	13,0	21
6,0	3,8	25	11,2	19	7,0	4,5	28	11,5	18
7,0	5,2	35	9,8	16	8,0	6,0	37	10,0	15
8,0	6,8	45	8,2	13	9,0	7,5	47	8,5	12
9,0	8,3	55	6,7	10	10,0	9,1	57	6,9	10
10,0	9,9	66	5,1	7	11,0	10,8	67	5,2	7
11,0	11,5	77	3,5	5	12,0	12,4	78	3,6	5
12,0	13,2	88	1,8	2	13,0	14,2	89	1,8	2
13,0	15,0	100	0,0	0	14,0	16,0	100	0,0	0

$t' \backslash t$	15				$t' \backslash t$	16			
5,0	0,8	5	16,3	27	6,0	1,4	8	16,8	27
6,0	2,2	13	14,9	24	7,0	2,9	16	15,3	23
7,0	3,7	21	13,4	21	8,0	4,4	24	13,8	20
8,0	5,2	30	11,9	18	9,0	5,9	33	12,3	17
9,0	6,7	39	10,4	15	10,0	7,5	41	10,7	14
10,0	8,3	49	8,8	12	11,0	9,2	50	9,0	12
11,0	10,0	58	7,1	9	12,0	10,8	60	7,4	9
12,0	11,6	68	5,5	7	13,0	12,6	69	5,6	7
13,0	13,4	78	3,7	4	14,0	14,4	79	3,8	4
14,0	15,2	89	1,9	2	15,0	16,3	89	1,9	2
15,0	17,1	100	0,0	0	16,0	18,2	100	0,0	0

$t' \backslash t$	17				$t' \backslash t$	18			
6,0	0,6	3	18,8	29	7,0	1,3	6	19,3	28
7,0	2,1	11	17,3	26	8,0	2,8	13	17,8	25
8,0	3,6	18	15,8	23	9,0	4,3	21	16,3	22
9,0	5,1	26	14,3	20	10,0	5,9	29	14,7	19
10,0	6,7	35	12,7	17	11,0	6,7	37	13,0	16
11,0	8,4	43	11,0	14	12,0	9,3	45	11,3	13

12,0	10,1	52	9,3	11	13,0	11,0	53	9,6	11
13,0	11,8	61	7,6	9	14,0	12,8	62	7,8	8
14,0	13,6	70	5,8	6	15,0	14,7	71	5,9	6
15,0	15,5	80	3,9	4	16,0	16,6	80	4,0	4
16,0	17,4	90	2,0	2	17,0	18,6	90	2,0	2
17,0	19,4	100	0,0	0	18,0	20,6	100	0,0	0

t t'	19					t t'	20				
8,0	2,0	9	20,0	27	8,0	1,2	5	22,2	30		
9,0	3,5	16	18,5	24	9,0	2,7	12	20,7	27		
10,0	5,1	23	16,9	21	10,0	4,3	19	19,1	24		
11,0	6,8	31	15,2	18	11,0	6,0	26	17,4	21		
12,0	8,5	39	13,5	16	12,0	7,7	33	15,7	18		
13,0	10,2	46	11,8	13	13,0	9,4	40	14,0	15		
14,0	12,0	55	10,0	11	14,0	11,2	48	12,2	13		
15,0	13,9	63	8,1	8	15,0	13,1	56	10,3	10		
16,0	15,8	72	6,2	6	16,0	15,0	64	8,4	8		
17,0	17,8	81	4,2	4	17,0	17,0	73	6,4	6		
18,0	19,9	90	2,1	2	18,0	19,1	81	4,3	4		
19,0	22,0	100	0,0	0	19,0	21,2	91	2,2	2		
					20,0	23,4	100	0,0	0		

t t'	21					t t'	22				
9,0	1,9	8	23,0	29	9,0	1,2	4	25,3	31		
10,0	3,5	14	21,4	26	10,0	2,7	10	23,8	28		
11,0	5,2	21	19,7	23	11,0	4,4	17	22,1	25		
12,0	6,9	28	18,0	20	12,0	6,1	23	20,4	22		
13,0	8,6	35	16,3	17	13,0	7,8	30	18,7	19		
14,0	10,4	42	14,5	15	14,0	9,6	36	16,9	17		
15,0	12,3	50	12,8	12	15,0	11,5	43	15,0	14		
16,0	14,2	57	10,7	10	16,0	13,4	51	13,1	12		
17,0	16,2	65	8,7	8	17,0	15,4	58	11,1	10		
18,0	18,3	73	6,6	6	18,0	17,5	66	9,0	7		
19,0	20,4	82	4,5	4	19,0	19,0	74	6,9	5		
20,0	22,6	91	2,3	2	20,0	21,8	82	4,7	3		
21,0	24,9	100	0,0	0	21,0	24,1	91	2,4	2		
					22,0	26,5	100	0,0	0		

t t'	23					t t'	24				
10,0	2,0	7	26,1	30	10,0	1,2	4	28,7	32		
11,0	3,6	13	24,5	27	11,0	2,8	9	27,1	29		
12,0	5,3	19	22,8	24	12,0	4,5	15	25,4	26		
13,0	7,0	25	21,1	22	13,0	6,2	21	23,7	24		
14,0	8,8	31	19,3	19	14,0	8,0	27	21,9	21		

15,0	10,7	38	17,4	16	15,0	9,9	33	20,0	18
16,0	12,6	45	15,5	14	16,0	11,8	40	18,1	16
17,0	14,6	52	13,5	11	17,0	13,8	46	16,1	13
18,0	16,7	59	11,4	9	18,0	15,9	53	14,0	11
19,0	18,8	67	9,3	7	19,0	18,0	60	11,9	9
20,0	21,0	75	7,1	5	20,0	20,2	68	9,7	7
21,0	23,3	83	4,8	3	21,0	22,5	75	7,4	5
22,0	25,7	91	2,4	2	22,0	24,9	83	5,0	3
23,0	28,1	100	0,0	0	23,0	27,3	91	2,6	2
					24,0	29,9	100	0,0	0
t	25				t	25			
t'	25				t'	25			
11,0	2,0	6	29,7	32	19,0	17,2	54	14,5	11
12,0	3,7	12	28,0	29	20,0	19,4	61	12,3	9
13,0	5,4	17	26,3	26	21,0	21,7	68	10,0	7
14,0	7,2	23	24,5	23	22,0	24,1	76	7,6	5
15,0	9,1	29	22,6	20	23,0	26,5	84	5,2	3
16,0	11,0	35	20,7	18	24,0	29,1	92	2,6	1
17,0	13,0	41	18,7	15	25,0	31,7	100	0,0	0
18,0	15,1	48	16,6	13					

Приложение 2

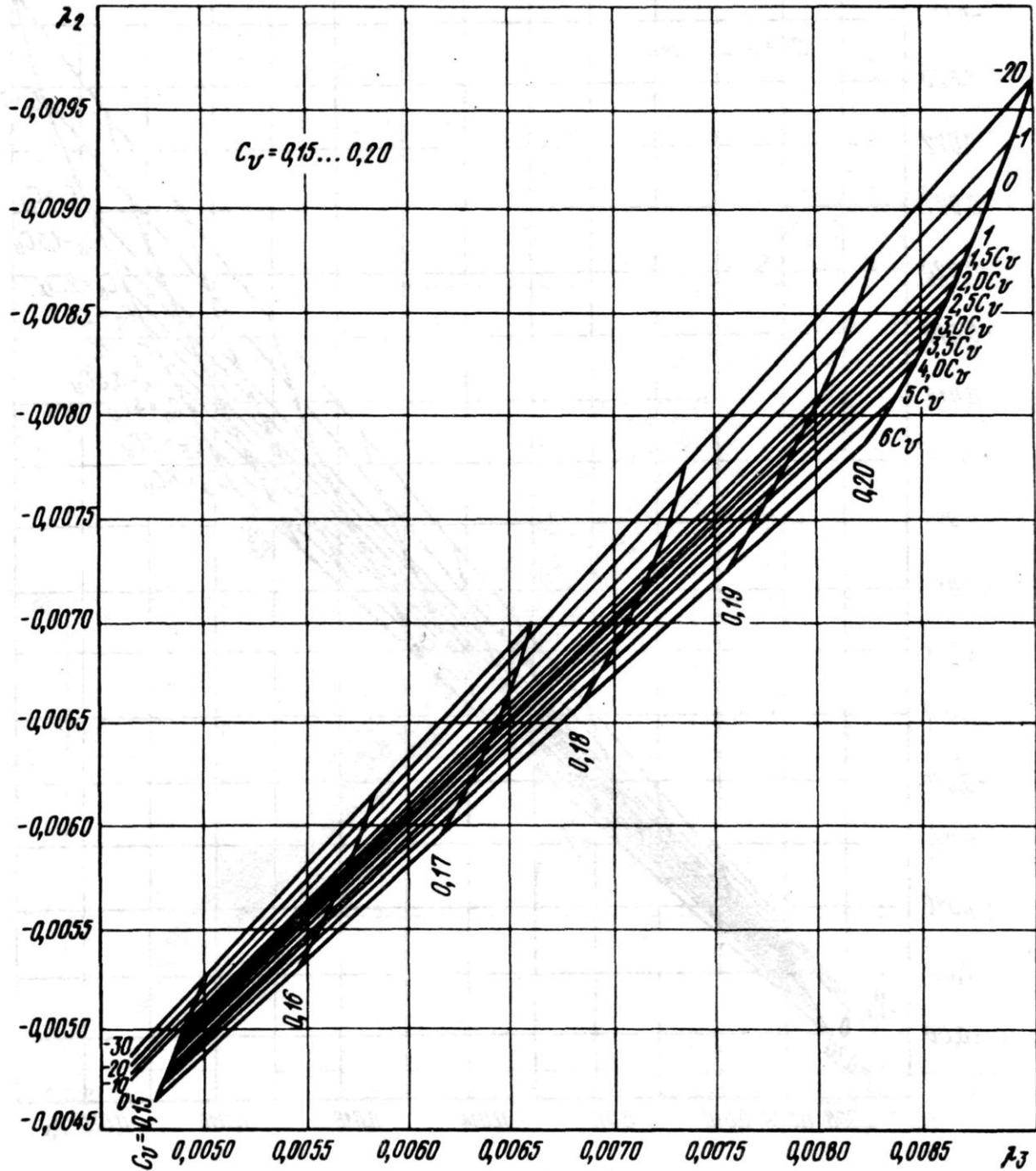
Поправки к смоченному термометру A_t

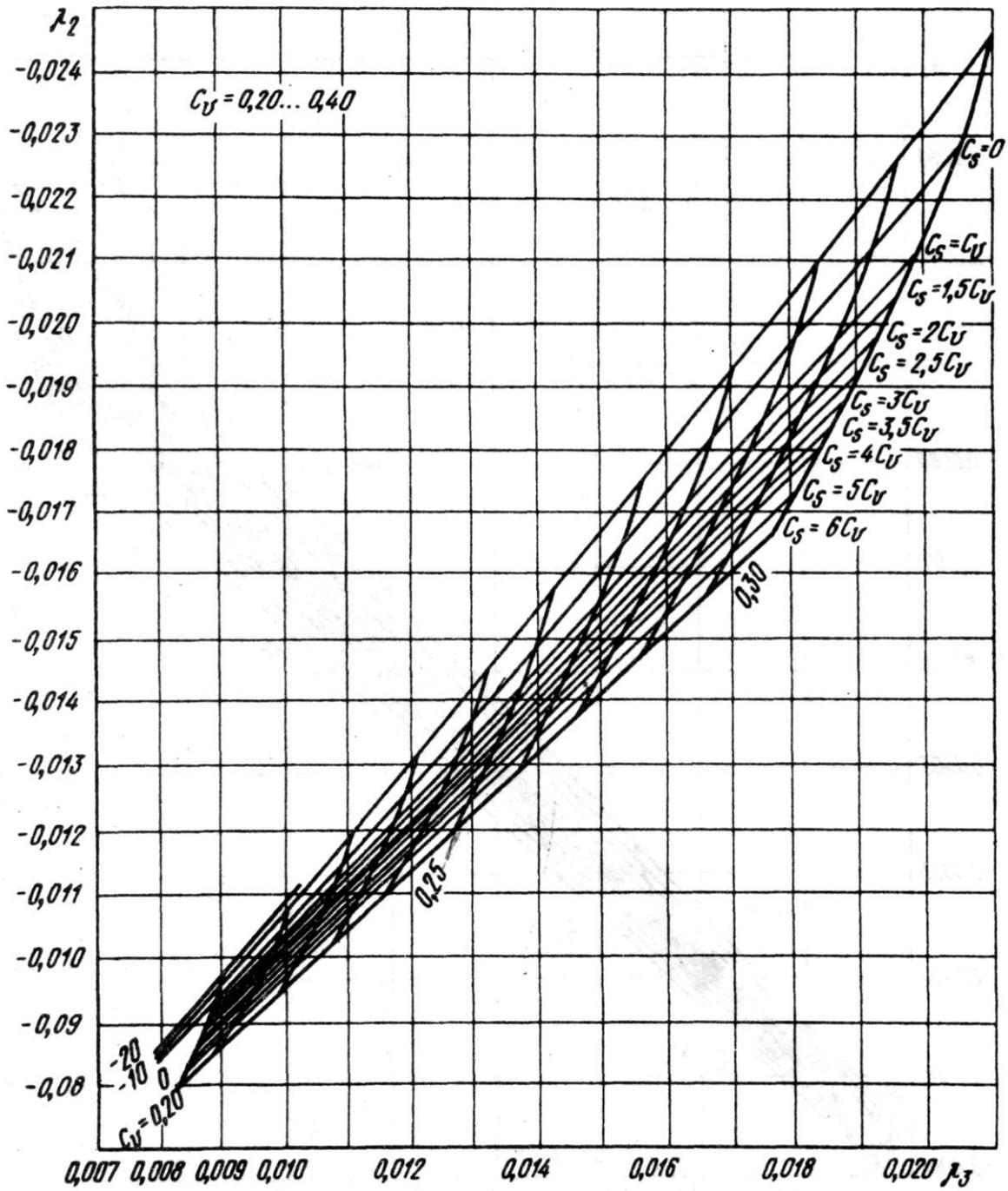
Для аспирационного психрометра (все поправки со знаком +)											$P.$	Для стационарного психрометра	
n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		n от – до	поправка
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	1030	0-8	0,0
10	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5		9-24	0,1
20	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8		25-32	-0,2
30	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	1020	0-12	0,0
10	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6		13-32	-0,1
20	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9		-	
30	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	1010	0-25	0,0
10	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6		26-32	-0,1
20	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0			
30	0,7	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	1000	0-32	0,0
10	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7			
20	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0			
30	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	900	0-25	0,0
10	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7		26-32	+0,1
20	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1			
30	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	980	0-12	0,0
10	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7		13-32	+0,1
20	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,1			
30	1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4			
0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	970	0-9	0,0
10	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7		10-24	+0,1
20	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		25-32	+0,2
30	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,5			

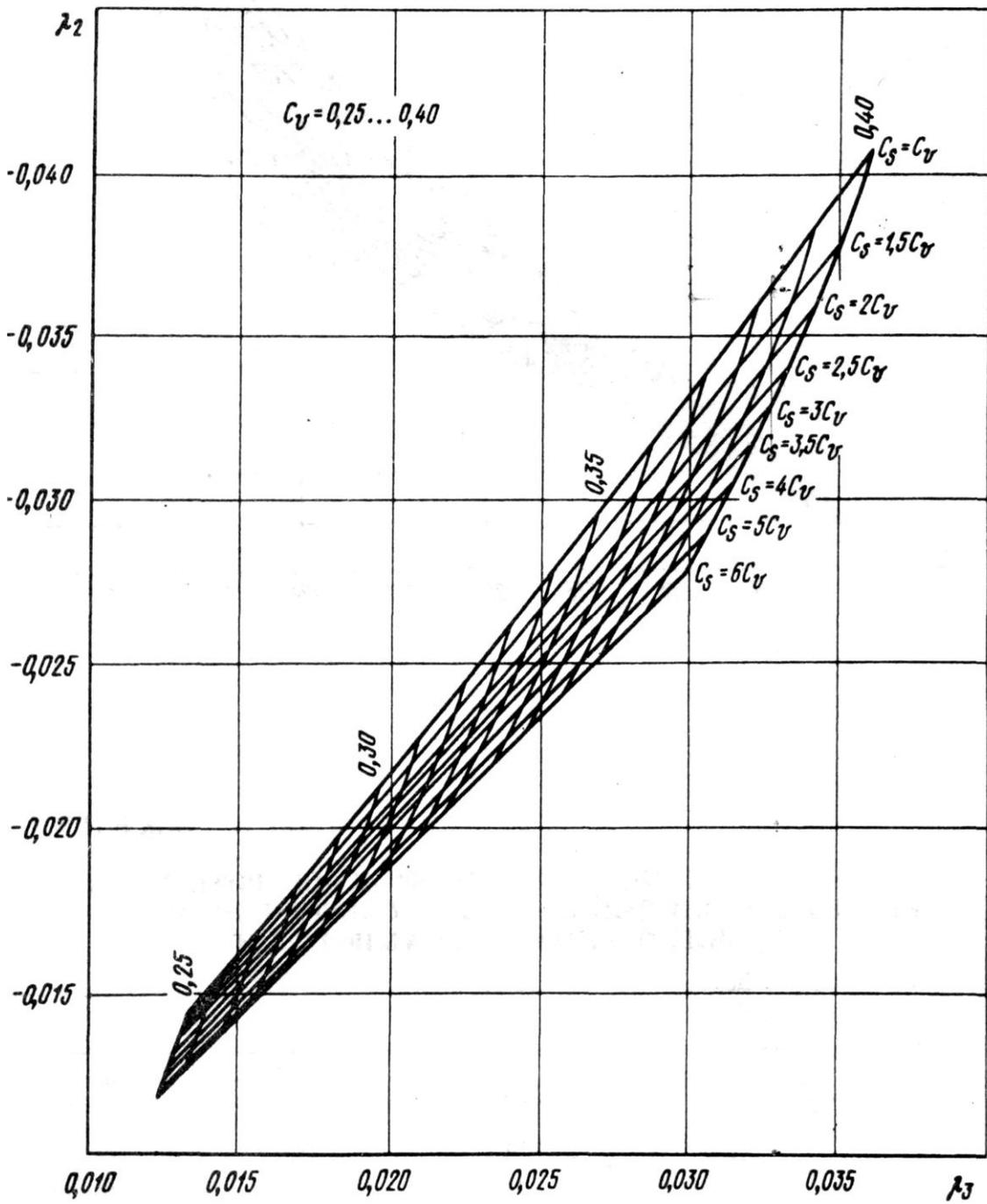
Исходные данные к построению номограмм для вычисления C_s и C_v методом приближенно наибольшего правдоподобия при трех свободно назначаемых параметрах

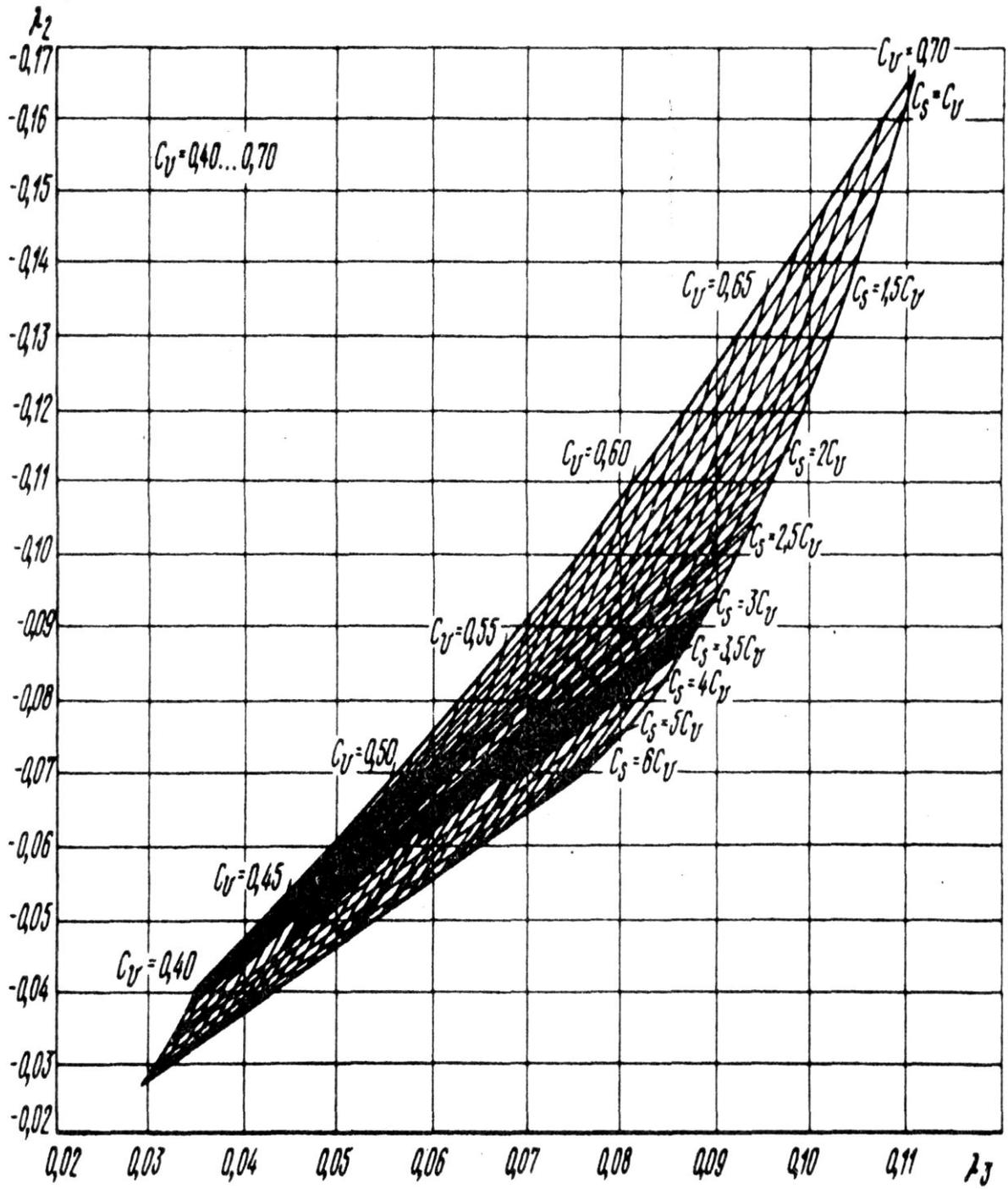
C_v	$C_s = C_v$		$C_s = 1,5 C_v$		$C_s = 2 C_v$		$C_s = 2,5 C_v$		$C_s = 3 C_v$	
	λ_2	λ_3'	λ_2	λ_3'	λ_2	λ_3'	λ_2	λ_3'	λ_2	λ_3
0,10	-0,00219	0,00218	-0,00218	0,00217	-0,00218	0,00217	(-0,00217)	(0,00216)	(-0,00216)	(0,00216)
0,15	-0,00498	0,00490	-0,00494	0,00489	-0,00490	0,00487	-0,00486	0,00484	(-0,00482)	(0,00482)
0,20	-0,00897	0,00876	-0,00886	0,00868	-0,00874	0,00863	-0,00863	0,00857	(-0,00853)	(0,00854)
0,25	-0,01433	0,01371	-0,01401	0,01357	-0,01371	0,01343	-0,01344	0,01330	(-0,01315)	(0,01316)
0,30	-0,02117	0,01987	-0,02046	0,01953	-0,01984	0,01925	-0,01928	0,01900	(-0,01875)	(0,01875)
0,35	-0,02971	0,02712	-0,02832	0,02656	-0,02714	0,02605	-0,02614	0,02560	-0,02528	0,02519
0,40	-0,04022	0,03561	-0,03772	0,03466	-0,03567	0,03382	-0,03400	0,03308	-0,03262	0,03242
0,45	-0,05305	0,04529	-0,04879	0,04380	-0,04545	0,04249	-0,04283	0,04137	-0,04076	0,04031
0,50	-0,06860	0,05677	-0,06173	0,05395	-0,05653	0,05204	-0,05265	0,05042	-0,04968	0,04906
0,55	-0,08719	0,06823	-0,07670	0,06508	-0,06897	0,06240	-0,06342	0,06018	-0,05935	0,05835
0,60	-0,10939	0,08145	-0,09300	0,07715	-0,08281	0,07354	-0,07516	0,07060	-0,06975	0,06821
0,65	-0,13563	0,09575	-0,11259	0,09014	-0,09810	0,08539	-0,08784	0,08161	-0,08085	0,07860
0,70	-0,16635	0,11108	-0,13584	0,10388	-0,11490	0,09790	-0,10148	0,09317	-0,09265	0,08947
0,75	-0,20200	0,12735	-0,16098	0,11841	-0,13328	0,11101	-0,11608	0,10563	-0,10513	0,10077
0,80	-0,24296	0,14446	-0,18918	0,13362	-0,15328	0,12467	-0,13164	0,11774	-0,11828	0,11246
0,85	-0,29000	0,16232	-0,22053	0,14944	-0,17496	0,13881	-0,14818	0,13065	-0,13210	0,12451
0,90	-0,34218	0,18081	-0,25530	0,16578	-0,19839	0,15339	-0,16569	0,14392	-0,14658	0,13686
0,95	-0,40097	0,19989	-0,29358	0,18259	-0,22361	0,16834	-0,18420	0,15751	-0,16171	0,14950
1,00	-0,46614	0,21933	-0,33552	0,19978	-0,25068	0,18361	-0,20371	0,17137	-0,17749	0,16237
1,05	-0,53779	0,23916	-0,38121	0,21728	-0,27964	0,19916	-0,22424	0,18547	-0,19393	0,17546
1,10	-0,61597	0,25924	-0,43080	0,23505	-0,31055	0,21394	-0,24581	0,19978	-0,21102	0,18872
1,15	-0,70065	0,27950	-0,48428	0,25301	-0,34344	0,23090	-0,26843	0,21426	-0,22877	0,20216
1,20	-0,79160	0,29984	-0,54175	0,27111	-0,37836	0,24601	-0,29212	0,22888	-0,24717	0,21571
1,25	-	-	-0,60331	0,28930	-0,41635	0,26323	-0,31691	0,24360	-0,26604	0,22938
1,30	-	-	-0,66895	0,30755	-0,45442	0,27953	-0,34280	0,25842	-0,28507	0,24313
1,35	-	-	-0,73874	0,32581	-0,49563	0,29587	-0,36994	0,27340	-0,30637	0,25695
1,40	-	-	-0,81267	0,34405	-0,53808	0,31222	-0,39839	0,28815	-0,32744	0,27081
1,45	-	-	-0,89078	0,36223	-0,58452	0,32858	-0,42730	0,30316	-0,34920	0,28470
1,50	-	-	-0,97307	0,38034	-0,63225	0,34490	-0,45781	0,31810	-0,37166	0,29861
1,55	-	-	-1,05955	0,39835	-0,68220	0,36117	-0,36117	0,33302	-0,39480	0,31252
1,60	-	-	-1,15022	0,41624	-0,73440	0,37738	-0,37738	0,34792	-0,41865	0,32641
1,65	-	-	-1,24510	0,43399	-0,78884	0,39351	-0,39351	0,36277	-0,44321	0,34029
1,70	-	-	-1,34415	0,45159	-0,87554	0,40054	-0,40054	0,37756	-0,46850	0,35412
1,75	-	-	-1,44768	0,46904	-0,90453	0,42548	-0,42548	0,39229	-0,49451	0,36791
1,80	-	-	-1,55479	0,48631	-0,96580	0,44130	-0,44130	0,40695	-0,52130	0,38165
1,85	-	-	-1,66636	0,50340	-1,02936	0,45609	-0,45609	0,42152	-0,54877	0,39532
1,90	-	-	-1,78209	0,52031	-1,09523	0,47256	-0,47256	0,43599	-0,57792	0,40893
1,95	-	-	-1,90196	0,53703	-1,16340	0,48799	-0,48799	0,46038	-0,60604	0,42247
2,00	-	-	-2,02597	0,55356	-1,23389	0,50327	-0,50327	0,46466	-0,63584	0,43592

Номограммы для вычисления параметров трехпараметрического гамма-распределения C_V и C_S методом наибольшего правдоподобия при $C_V = 0,15 \dots 0,70$.









Ординаты кривых трехпараметрического гамма-распределения

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
0.03	1	1.35	1.74	2.15	2.56	2.97	3.37	3.74	4.09	4.41	4.69
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
0.3	1	1.28	1.59	1.91	2.23	2.56	2.89	3.21	3.53	3.84	4.14
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
3	1	1.19	1.39	1.60	1.82	2.04	2.27	2.50	2.75	3.01	3.29
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
99.5	1	0.752	0.528	0.335	0.182	0.081	0.028	0.008	0.002	0.2	0.3
99.7	1	0.737	0.502	0.303	0.154	0.062	0.019	0.004	0.001	0.9	0.1
99.9	1	0.707	0.451	0.247	0.108	0.036	0.008	0.001	2 · 10 ⁻³	0.1	0.2

P, %	Cv									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
Cs=Cv										
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
0.03	4.94	5.16	5.29	5.42	5.51	5.58	5.65	5.70	5.74	5.78
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
0.3	4.44	4.74	4.92	5.06	5.16	5.24	5.31	5.36	5.42	5.46
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
3	3.59	3.92	4.14	4.33	4.46	4.58	4.68	4.76	4.84	4.92
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	$3 \cdot 10^{-4}$	0	0	0	0	0	0	0	0
97	0.0003	$6 \cdot 10^{-5}$	0	0	0	0	0	0	0	0
99	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	0	0	0	0	0	0	0	0
99.5	$5 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-7}$	0	0	0	0	0	0	0	0
99.7	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-7}$	0	0	0	0	0	0	0	0
99.9	$1 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-9}$	0	0	0	0	0	0	0	0

продолжение прил. 4

$P, \%$	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
	$C_s = 1,5C_v$														
0,001	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
0,03	1,37	1,79	2,26	2,76	3,30	3,88	4,50	5,14	5,82	6,56	7,33	8,13	8,96	9,80	10,7
0,05	1,35	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
0,3	1,29	1,61	1,97	2,34	2,74	3,17	3,62	4,10	4,61	5,14	5,72	6,32	6,95	7,60	8,25
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	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
3	1,19	1,40	1,62	1,85	2,09	2,34	2,60	2,88	3,16	3,46	3,78	4,12	4,48	4,86	5,27
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	0,814	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	0,630	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	0,105	0,067	0,039	0,022	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	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,2 \cdot 10^{-3}$
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	$0,3 \cdot 10^{-3}$	$0,8 \cdot 10^{-3}$	$0,3 \cdot 10^{-4}$
99	0,780	0,581	0,410	0,268	0,160	0,084	0,038	0,015	0,005	0,001	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-5}$	$0,2 \cdot 10^{-5}$

175

Обеспеченность P , %																							
Cv	0,01	0,05	0,1	1	3	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	85	90	95	97	99	99,9	Cv
$Cs = 2Cv$																							
0,05	1,197	1,173	1,162	1,120	1,096	1,084	1,064	1,042	1,033	1,026	1,012	0,999	0,986	0,974	0,966	0,958	0,948	0,936	0,920	0,908	0,888	0,852	0,05
0,06	1,241	1,211	1,197	1,145	1,116	1,101	1,077	1,050	1,039	1,031	1,014	0,999	0,983	0,968	0,959	0,949	0,938	0,924	0,904	0,890	0,867	0,825	0,06
0,07	1,285	1,249	1,232	1,171	1,136	1,118	1,090	1,058	1,046	1,036	1,016	0,998	0,980	0,962	0,952	0,941	0,928	0,911	0,889	0,873	0,846	0,799	0,07
0,08	1,328	1,286	1,268	1,196	1,156	1,136	1,104	1,067	1,052	1,040	1,018	0,998	0,978	0,956	0,945	0,932	0,917	0,899	0,873	0,856	0,824	0,772	0,08
0,09	1,372	1,324	1,303	1,221	1,176	1,153	1,117	1,074	1,058	1,045	1,020	0,997	0,975	0,951	0,938	0,924	0,907	0,880	0,858	0,838	0,803	0,746	0,09
0,10	1,416	1,362	1,338	1,247	1,196	1,170	1,130	1,083	1,065	1,050	1,022	0,997	0,972	0,945	0,931	0,915	0,897	0,874	0,842	0,821	0,782	0,719	0,10
0,11	1,467	1,405	1,377	1,274	1,217	1,188	1,143	1,091	1,074	1,054	1,024	0,996	0,969	0,939	0,924	0,906	0,887	0,862	0,872	0,805	0,763	0,696	0,11
0,12	1,517	1,448	1,417	1,302	1,238	1,206	1,157	1,099	1,077	1,059	1,025	0,995	0,965	0,933	0,916	0,898	0,877	0,850	0,813	0,789	0,744	0,674	0,12
0,13	1,568	1,491	1,456	1,330	1,260	1,224	1,170	1,107	1,083	1,063	1,027	0,994	0,962	0,927	0,909	0,890	0,867	0,838	0,798	0,783	0,726	0,651	0,13
0,14	1,618	1,534	1,496	1,357	1,281	1,242	1,184	1,115	1,089	1,068	1,028	0,993	0,958	0,921	0,902	0,881	0,857	0,826	0,784	0,757	0,707	0,628	0,14
0,15	1,669	1,577	1,535	1,384	1,302	1,260	1,197	1,124	1,096	1,072	1,030	0,992	0,955	0,916	0,894	0,872	0,846	0,814	0,769	0,740	0,688	0,606	0,15
0,16	1,720	1,620	1,574	1,412	1,323	1,278	1,210	1,132	1,101	1,076	1,032	0,990	0,952	0,910	0,887	0,864	0,836	0,802	0,754	0,724	0,669	0,583	0,16
0,17	1,770	1,663	1,614	1,440	1,344	1,296	1,224	1,140	1,108	1,081	1,033	0,989	0,948	0,904	0,880	0,856	0,826	0,790	0,740	0,708	0,650	0,560	0,17
0,18	1,821	1,706	1,653	1,467	1,366	1,314	1,237	1,148	1,114	1,085	1,035	0,988	0,945	0,898	0,873	0,847	0,816	0,778	0,725	0,692	0,632	0,537	0,18
0,19	1,871	1,749	1,693	1,494	1,387	1,332	1,251	1,156	1,120	1,090	1,036	0,987	0,941	0,892	0,865	0,838	0,806	0,766	0,711	0,676	0,613	0,515	0,19
0,20	1,922	1,792	1,732	1,522	1,408	1,350	1,264	1,164	1,126	1,094	1,038	0,986	0,938	0,886	0,858	0,830	0,796	0,754	0,696	0,660	0,594	0,492	0,20
0,21	1,981	1,842	1,778	1,552	1,431	1,369	1,278	1,172	1,132	1,098	1,039	0,984	0,934	0,880	0,851	0,822	0,786	0,743	0,683	0,646	0,578	0,475	0,21
0,22	2,041	1,891	1,823	1,582	1,454	1,388	1,291	1,179	1,137	1,102	1,040	0,983	0,930	0,873	0,843	0,813	0,776	0,731	0,670	0,631	0,562	0,457	0,22
0,23	2,100	1,940	1,869	1,613	1,476	1,407	1,304	1,187	1,142	1,105	1,041	0,981	0,926	0,867	0,836	0,804	0,766	0,720	0,657	0,617	0,547	0,440	0,23
0,24	2,159	1,990	1,914	1,643	1,499	1,426	1,318	1,194	1,149	1,109	1,042	0,980	0,922	0,861	0,828	0,796	0,756	0,708	0,644	0,603	0,531	0,423	0,24
0,25	2,218	2,040	1,960	1,674	1,522	1,445	1,332	1,202	1,154	1,113	1,043	0,978	0,918	0,854	0,821	0,788	0,746	0,697	0,630	0,588	0,515	0,406	0,25
0,26	2,278	2,089	2,006	1,704	1,545	1,464	1,345	1,210	1,160	1,117	1,044	0,976	0,914	0,848	0,814	0,779	0,736	0,686	0,617	0,574	0,499	0,388	0,26
0,27	2,337	2,138	2,051	1,734	1,568	1,483	1,358	1,217	1,166	1,121	1,045	0,975	0,910	0,842	0,806	0,770	0,726	0,674	0,604	0,560	0,483	0,371	0,27
0,28	2,396	2,188	2,097	1,764	1,590	1,502	1,372	1,225	1,172	1,124	1,046	0,973	0,906	0,836	0,799	0,762	0,716	0,663	0,591	0,546	0,468	0,354	0,28
0,29	2,456	2,238	2,142	1,795	1,613	1,521	1,386	1,232	1,177	1,128	1,047	0,972	0,902	0,829	0,791	0,754	0,706	0,651	0,578	0,531	0,452	0,336	0,29
0,30	2,515	2,287	2,188	1,825	1,636	1,540	1,399	1,240	1,183	1,132	1,048	0,970	0,898	0,823	0,785	0,745	0,696	0,640	0,565	0,517	0,436	0,319	0,30
0,31	2,584	2,344	2,239	1,858	1,660	1,560	1,413	1,247	1,188	1,135	1,048	0,968	0,893	0,817	0,776	0,736	0,686	0,629	0,553	0,504	0,423	0,306	0,31
0,32	2,662	2,400	2,290	1,891	1,683	1,579	1,426	1,254	1,193	1,138	1,048	0,966	0,889	0,810	0,769	0,727	0,676	0,618	0,542	0,492	0,410	0,294	0,32
0,33	2,721	2,456	2,340	1,924	1,707	1,599	1,440	1,262	1,198	1,142	1,048	0,963	0,884	0,804	0,761	0,718	0,666	0,608	0,530	0,480	0,396	0,281	0,33
0,34	2,789	2,513	2,391	1,957	1,730	1,618	1,454	1,269	1,203	1,145	1,048	0,961	0,880	0,798	0,754	0,709	0,656	0,597	0,518	0,467	0,383	0,268	0,34
0,35	2,858	2,570	2,442	1,990	1,754	1,638	1,468	1,276	1,208	1,148	1,048	0,959	0,875	0,792	0,746	0,700	0,646	0,586	0,506	0,454	0,370	0,256	0,35
0,36	2,926	2,626	2,493	2,024	1,778	1,658	1,481	1,283	1,212	1,151	1,048	0,957	0,870	0,785	0,738	0,692	0,636	0,575	0,495	0,442	0,357	0,243	0,36
0,37	2,994	2,682	2,544	2,057	1,801	1,677	1,495	1,290	1,217	1,154	1,048	0,955	0,866	0,779	0,731	0,683	0,626	0,564	0,483	0,430	0,344	0,230	0,37
0,38	3,063	2,739	2,594	2,090	1,825	1,697	1,509	1,298	1,222	1,158	1,048	0,952	0,861	0,773	0,723	0,674	0,616	0,554	0,471	0,417	0,330	0,217	0,38
0,39	3,132	2,796	2,645	2,123	1,848	1,716	1,522	1,305	1,227	1,161	1,048	0,950	0,857	0,776	0,716	0,665	0,606	0,543	0,460	0,404	0,317	0,205	0,39
0,40	3,200	2,852	2,696	2,156	1,872	1,736	1,536	1,312	1,232	1,164	1,048	0,948	0,852	0,760	0,708	0,656	0,596	0,532	0,448	0,392	0,304	0,192	0,40
0,41	3,278	2,915	2,753	2,192	1,897	1,756	1,549	1,319	1,236	1,167	1,048	0,945	0,847	0,753	0,701	0,648	0,588	0,522	0,437	0,382	0,294	0,184	0,41
0,42	3,356	2,978	2,810	2,227	1,923	1,776	1,563	1,325	1,241	1,169	1,047	0,942	0,842	0,746	0,693	0,640	0,580	0,513	0,427	0,371	0,284	0,175	0,42
0,43	3,433	3,042	2,867	2,262	1,948	1,797	1,576	1,332	1,246	1,172	1,047	0,939	0,837	0,739	0,686	0,631	0,572	0,503	0,416	0,361	0,275	0,166	0,43
0,44	3,511	3,105	2,924	2,298	1,974	1,817	1,590	1,338	1,250	1,174	1,046	0,936	0,832	0,732	0,678	0,623	0,563	0,494	0,406	0,350	0,265	0,158	0,44
0,45	3,589	3,168	2,981	2,334	1,999	1,837	1,603	1,345	1,254	1,177	1,046	0,933	0,828	0,726	0,671	0,615	0,556	0,484	0,395	0,340	0,255	0,150	0,45
0,46	3,667	3,231	3,038	2,369	2,024	1,857	1,616	1,352	1,259	1,180	1,046	0,930	0,823	0,719	0,664	0,607	0,547	0,474	0,384	0,330	0,245	0,141	0,46
0,47	3,745	3,294	3,095	2,404	2,050	1,877	1,630	1,358	1,264	1,182	1,045	0,927	0,818	0,712	0,656	0,599	0,540	0,465	0,374	0,319	0,236	0,132	0,47
0,48	3,822	3,358	3,152	2,440	2,075	1,898	1,643	1,365	1,268	1,185	1,045	0,924	0,813	0,705	0,649	0,590	0,531	0,455	0,363	0,309	0,226	0,124	0,48

0,49 3,900 3,421 3,209 2,476 2,101 1,918 1,657 1,371 1,272 1,187 1,044 0,921 0,808 0,698 0,641 0,582 0,521 0,446 0,353 0,298 0,216 0,116 0,49

продолжение прил. 4

продолжение прил. 4

Обеспеченность, %																							
Cv	0,01	0,05	0,1	1	3	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	85	90	95	97	99	99,9	Cv
0,50	3,978	3,484	3,266	2,511	2,126	1,938	1,670	1,378	1,277	1,190	1,044	0,918	0,803	0,691	0,634	0,574	0,511	0,436	0,342	0,288	0,206	0,107	0,50
0,51	4,065	3,554	3,328	2,549	2,152	1,959	1,683	1,384	1,280	1,192	1,043	0,915	0,798	0,684	0,626	0,566	0,501	0,428	0,333	0,279	0,198	0,102	0,51
0,52	4,152	3,623	3,390	2,587	2,178	1,980	1,697	1,390	1,284	1,194	1,041	0,912	0,792	0,677	0,618	0,558	0,491	0,419	0,325	0,271	0,191	0,096	0,52
0,53	4,238	3,693	3,452	2,625	2,204	2,000	1,710	1,396	1,288	1,196	1,040	0,908	0,786	0,670	0,611	0,551	0,486	0,411	0,316	0,262	0,183	0,090	0,53
0,54	4,325	3,762	3,514	2,663	2,230	2,021	1,724	1,402	1,291	1,198	1,038	0,905	0,781	0,663	0,603	0,543	0,477	0,402	0,308	0,254	0,176	0,085	0,54
0,55	4,412	3,832	3,576	2,700	2,256	2,042	1,737	1,408	1,294	1,200	1,037	0,902	0,776	0,656	0,595	0,535	0,469	0,394	0,299	0,245	0,168	0,080	0,55
0,56	4,499	3,902	3,638	2,738	2,282	2,063	1,750	1,414	1,298	1,202	1,036	0,899	0,770	0,650	0,587	0,527	0,461	0,386	0,290	0,236	0,160	0,074	0,56
0,57	4,586	3,971	3,700	2,776	2,308	2,084	1,764	1,420	1,302	1,204	1,034	0,896	0,765	0,643	0,579	0,519	0,453	0,377	0,282	0,228	0,153	0,068	0,57
0,58	4,672	4,041	3,762	2,814	2,334	2,104	1,777	1,426	1,305	1,206	1,033	0,892	0,759	0,636	0,572	0,512	0,445	0,369	0,273	0,219	0,145	0,063	0,58
0,59	4,759	4,110	3,824	2,852	2,360	2,125	1,791	1,432	1,308	1,208	1,031	0,889	0,754	0,629	0,564	0,504	0,436	0,360	0,265	0,211	0,138	0,058	0,59
0,60	4,846	4,180	3,886	2,890	2,386	2,146	1,804	1,438	1,312	1,210	1,030	0,886	0,748	0,622	0,556	0,496	0,429	0,352	0,256	0,202	0,130	0,052	0,60
0,61	4,942	4,256	3,954	2,930	2,413	2,167	1,817	1,444	1,315	1,211	1,028	0,882	0,742	0,615	0,549	0,488	0,421	0,344	0,248	0,196	0,125	0,050	0,61
0,62	5,039	4,332	4,021	2,970	2,441	2,188	1,831	1,450	1,318	1,211	1,027	0,878	0,737	0,608	0,543	0,481	0,413	0,336	0,241	0,189	0,119	0,047	0,62
0,63	5,135	4,408	4,089	3,010	2,468	2,210	1,844	1,456	1,321	1,212	1,025	0,874	0,731	0,601	0,536	0,473	0,405	0,328	0,234	0,183	0,114	0,044	0,63
0,64	5,231	4,484	4,157	3,050	2,495	2,231	1,858	1,462	1,324	1,213	1,024	0,870	0,726	0,594	0,529	0,465	0,398	0,320	0,226	0,177	0,108	0,042	0,64
0,65	5,328	4,561	4,224	3,090	2,522	2,252	1,871	1,468	1,328	1,214	1,022	0,866	0,720	0,587	0,522	0,458	0,391	0,312	0,218	0,170	0,103	0,040	0,65
0,66	5,424	4,637	4,292	3,129	2,550	2,273	1,884	1,473	1,331	1,214	1,020	0,862	0,714	0,580	0,516	0,450	0,383	0,304	0,211	0,164	0,098	0,037	0,66
0,67	5,520	4,713	4,360	3,169	2,577	2,294	1,898	1,479	1,334	1,215	1,019	0,858	0,709	0,573	0,509	0,442	0,375	0,296	0,204	0,158	0,092	0,034	0,67
0,68	5,616	4,789	4,428	3,209	2,604	2,316	1,911	1,485	1,337	1,216	1,017	0,854	0,703	0,566	0,502	0,434	0,363	0,288	0,196	0,152	0,087	0,032	0,68
0,69	5,713	4,865	4,495	3,249	2,632	2,337	1,925	1,491	1,339	1,216	1,016	0,850	0,698	0,559	0,496	0,427	0,355	0,280	0,188	0,145	0,081	0,030	0,69
0,70	5,809	4,941	4,563	3,289	2,659	2,358	1,938	1,497	1,343	1,217	1,014	0,846	0,692	0,552	0,489	0,419	0,347	0,272	0,181	0,139	0,076	0,027	0,70
0,71	5,913	5,024	4,636	3,331	2,687	2,379	1,951	1,502	1,346	1,218	1,011	0,841	0,686	0,546	0,482	0,412	0,340	0,266	0,175	0,134	0,072	0,025	0,71
0,72	6,017	5,106	4,710	3,374	2,714	2,400	1,963	1,506	1,348	1,218	1,008	0,837	0,680	0,539	0,474	0,406	0,334	0,259	0,168	0,129	0,069	0,023	0,72
0,73	6,121	5,189	4,783	3,416	2,742	2,421	1,976	1,511	1,350	1,219	1,005	0,832	0,674	0,533	0,467	0,399	0,328	0,253	0,163	0,124	0,065	0,021	0,73
0,74	6,225	5,272	4,856	3,458	2,770	2,442	1,988	1,516	1,353	1,220	1,002	0,828	0,668	0,526	0,460	0,392	0,321	0,246	0,157	0,119	0,062	0,019	0,74
0,75	6,328	5,354	4,930	3,500	2,798	2,463	2,001	1,520	1,356	1,220	0,999	0,823	0,662	0,520	0,452	0,386	0,314	0,240	0,150	0,113	0,058	0,018	0,75
0,76	6,432	5,437	5,003	3,543	2,825	2,484	2,014	1,525	1,358	1,221	0,996	0,818	0,656	0,514	0,445	0,379	0,307	0,234	0,144	0,108	0,054	0,016	0,76
0,77	6,536	5,520	5,076	3,585	2,853	2,505	2,026	1,530	1,360	1,222	0,993	0,814	0,650	0,507	0,438	0,372	0,301	0,227	0,138	0,103	0,051	0,014	0,77
0,78	6,640	5,603	5,149	3,627	2,881	2,526	2,039	1,535	1,363	1,223	0,990	0,809	0,644	0,501	0,431	0,365	0,294	0,221	0,132	0,098	0,047	0,012	0,78
0,79	6,744	5,685	5,223	3,670	2,908	2,547	2,051	1,539	1,366	1,223	0,987	0,805	0,638	0,494	0,423	0,359	0,287	0,214	0,126	0,093	0,044	0,010	0,79
0,80	6,848	5,768	5,296	3,712	2,936	2,568	2,064	1,544	1,368	1,224	0,984	0,800	0,632	0,488	0,416	0,352	0,281	0,208	0,120	0,088	0,040	0,008	0,80
0,81	6,962	5,856	5,374	3,756	2,964	2,589	2,076	1,547	1,369	1,223	0,981	0,795	0,626	0,482	0,410	0,345	0,275	0,203	0,116	0,084	0,038	0,007	0,81
0,82	7,075	5,945	5,452	3,800	2,992	2,611	2,089	1,550	1,370	1,222	0,978	0,790	0,619	0,475	0,403	0,330	0,268	0,197	0,112	0,080	0,036	0,007	0,82
0,83	7,389	6,033	5,530	3,883	3,019	2,632	2,101	1,554	1,371	1,222	0,975	0,784	0,613	0,469	0,397	0,330	0,262	0,192	0,109	0,075	0,034	0,006	0,83
0,84	7,402	6,122	5,608	3,887	3,047	2,654	2,114	1,557	1,372	1,221	0,972	0,779	0,606	0,462	0,390	0,323	0,255	0,186	0,105	0,071	0,032	0,006	0,84
0,85	7,416	6,210	5,686	3,931	3,075	2,675	2,126	1,560	1,373	1,220	0,970	0,774	0,600	0,456	0,384	0,316	0,249	0,181	0,101	0,067	0,030	0,005	0,85
0,86	7,530	6,298	5,764	3,975	3,103	2,696	2,138	1,563	1,374	1,219	0,967	0,769	0,594	0,450	0,378	0,309	0,243	0,176	0,097	0,063	0,027	0,004	0,86
0,87	7,643	6,387	5,842	4,019	3,131	2,718	2,151	1,566	1,375	1,218	0,964	0,764	0,587	0,443	0,371	0,302	0,237	0,170	0,093	0,058	0,025	0,004	0,87
0,88	7,757	6,475	5,920	4,062	3,158	2,739	2,163	1,570	1,376	1,218	0,961	0,758	0,581	0,437	0,365	0,294	0,231	0,165	0,090	0,054	0,023	0,003	0,88
0,89	7,870	6,564	5,998	4,106	3,186	2,761	2,176	1,573	1,377	1,217	0,958	0,753	0,574	0,430	0,358	0,287	0,224	0,159	0,086	0,050	0,021	0,003	0,89
0,90	7,984	6,652	6,076	4,150	3,214	2,782	2,188	1,576	1,378	1,216	0,955	0,748	0,568	0,424	0,352	0,280	0,219	0,154	0,082	0,046	0,019	0,002	0,90
0,91	8,107	6,747	6,159	4,196	3,243	2,803	2,200	1,579	1,379	1,215	0,951	0,742	0,562	0,417	0,346	0,274	0,214	0,149	0,079	0,044	0,018	0,002	0,91

0,92	8,229	6,842	6,242	4,241	3,273	2,825	2,211	1,583	1,380	1,214	0,947	0,737	0,557	0,411	0,339	0,269	0,208	0,144	0,076	0,043	0,017	0,002	0,92
0,93	8,352	6,937	6,326	4,286	3,302	2,846	2,222	1,586	1,380	1,212	0,943	0,732	0,551	0,404	0,333	0,263	0,202	0,139	0,073	0,041	0,016	0,002	0,93
0,94	8,474	7,032	6,409	4,332	3,331	2,868	2,234	1,590	1,381	1,211	0,939	0,726	0,545	0,397	0,326	0,257	0,197	0,134	0,070	0,040	0,015	0,002	0,94
0,95	8,597	7,126	6,492	4,378	3,360	2,889	2,246	1,593	1,382	1,210	0,936	0,720	0,540	0,390	0,320	0,252	0,192	0,129	0,066	0,038	0,014	0,002	0,95

продолжение прил. 4

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
0.03	1.40	1.88	2.48	3.18	4.00	4.91	5.93	7.02	8.20	9.46
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
0.3	1.30	1.66	2.08	2.55	3.07	3.64	4.26	4.91	5.58	6.28
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
3	1.20	1.42	1.65	1.90	2.15	2.42	2.69	2.96	3.23	3.50
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	1.44	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

продолжение прил. 4

<i>P, %</i>	<i>C_v</i>									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
<i>C_s = 2.5C_v</i>										
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
0.03	10.8	12.2	13.7	15.2	16.8	18.5	20.2	22.1	24.0	26.0
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
0.3	7.02	7.78	8.56	9.36	10.2	11.1	12.0	13.0	14.1	15.2
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
3	3.77	4.04	4.30	4.56	4.81	5.06	5.30	5.54	5.78	6.01
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 · 10 ⁻⁴	2 · 10 ⁻⁴
99	0.019	0.011	0.006	0.003	0.001	0.001	3 · 10 ⁻⁴	1 · 10 ⁻⁴	4 · 10 ⁻⁵	2 · 10 ⁻⁵
99,5	0.011	0.006	0.003	0.001	0.5 · 10 ⁻³	0.2 · 10 ⁻³	0.8 · 10 ⁻⁴	0.3 · 10 ⁻⁴	0.1 · 10 ⁻⁴	0.3 · 10 ⁻⁵
99,7	0.008	0.004	0.002	0.7 · 10 ⁻³	0.3 · 10 ⁻³	0.1 · 10 ⁻³	0.4 · 10 ⁻⁵	0.1 · 10 ⁻⁴	0.3 · 10 ⁻⁵	0.1 · 10 ⁻⁵
99,9	0.004	0.001	0.001	0.2 · 10 ⁻³	0.6 · 10 ⁻⁴	0.2 · 10 ⁻⁴	0.6 · 10 ⁻⁵	0.1 · 10 ⁻⁵	0.4 · 10 ⁻⁶	0.9 · 10 ⁻⁷

Нормированные отклонения от среднего значения ординат распределения Пирсона Ш типа

$$(x_{p\%} - \bar{x})/\sigma = (k_{p\%} - 1)/Cv = \Phi(P, Cs)$$

(биномиальная кривая распределения)

Обеспеченность, %																							
Cs	0,01	0,05	0,1	1	3	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	97	99	99,9	Cs	S
0,00	3,72	3,29	3,09	2,33	1,88	1,64	1,28	0,84	0,67	0,52	0,25	0,00	-0,25	-0,52	-0,67	-0,84	-1,28	-1,64	-1,88	-2,33	-3,09	0,00	0,00
0,05	3,83	3,38	3,16	2,36	1,90	1,65	1,28	0,84	0,66	0,52	0,24	-0,01	-0,26	-0,52	-0,68	-0,84	-1,28	-1,67	-1,86	-2,29	-3,02	0,05	
0,10	3,94	3,46	3,23	2,40	1,92	1,67	1,29	0,84	0,66	0,51	0,24	-0,02	-0,27	-0,53	-0,68	-0,85	-1,27	-1,61	-1,84	-2,25	-2,95	0,10	0,03
0,15	4,05	3,54	3,31	2,44	1,44	1,68	1,30	0,84	0,66	0,50	0,23	-0,02	-0,28	-0,54	-0,68	-0,85	-1,26	-1,60	-1,82	-2,22	-2,88	0,15	
0,20	4,16	3,62	3,38	2,47	1,96	1,70	1,30	0,83	0,65	0,50	0,22	-0,03	-0,28	-0,55	-0,69	-0,85	-1,26	-1,58	-1,79	-2,18	-2,81	0,20	0,06
0,25	4,27	3,70	3,45	2,50	1,98	1,71	1,30	0,82	0,64	0,49	0,21	-0,04	-0,29	-0,56	-0,70	-0,85	-1,25	-1,56	-0,77	-2,14	-2,74	0,25	
0,30	4,38	3,79	3,52	2,54	2,00	1,72	1,31	0,82	0,64	0,48	0,20	-0,05	-0,30	-0,56	-0,70	-0,85	-1,24	-1,55	-1,75	-2,10	-2,61	0,30	0,08
0,35	4,50	3,88	3,59	2,58	2,02	1,73	1,32	0,82	0,64	0,48	0,20	-0,06	-0,30	-0,56	-0,70	-0,85	-1,24	-1,53	-1,72	-2,06	-2,60	0,35	
0,40	4,61	3,96	3,66	2,61	2,04	1,75	1,32	0,82	0,63	0,47	0,19	-0,07	-0,31	-0,57	-0,71	-0,85	-1,23	-1,52	-1,70	-2,03	-2,54	0,40	0,11
0,45	4,72	4,04	3,74	2,64	2,06	1,76	1,32	0,82	0,62	0,46	0,18	-0,08	-0,32	-0,58	-0,71	-0,85	-1,22	-1,51	-1,68	-2,00	-2,47	0,45	
0,50	4,83	4,12	3,81	2,68	2,08	1,77	1,32	0,81	0,62	0,46	0,18	-0,08	-0,33	-0,58	-0,71	-0,85	-1,22	-1,49	-1,66	-1,96	-2,40	0,50	0,14
0,55	4,94	4,20	3,88	2,72	2,10	1,78	1,32	0,80	0,67	0,45	0,16	-0,09	-0,34	-0,58	-0,72	-0,85	-1,21	-1,47	-1,64	-1,92	-2,32	0,55	
0,60	5,05	4,29	3,96	2,75	2,12	1,80	1,33	0,80	0,61	0,44	0,16	-0,10	-0,34	-0,59	-0,72	-0,85	-1,20	-1,45	-1,61	-1,88	-2,27	0,60	0,17
0,65	5,16	4,38	4,03	2,78	2,14	1,81	1,33	0,80	0,60	0,44	0,15	-0,11	-0,35	-0,60	-0,72	-0,85	-1,19	-1,44	-1,59	-1,84	-2,20	0,65	
0,70	5,28	4,46	4,10	2,82	2,15	1,82	1,33	0,78	0,59	0,43	0,14	-0,12	-0,36	-0,60	-0,72	-0,85	-1,18	-1,42	-1,57	-1,81	-2,14	0,70	0,20
0,75	5,39	4,54	4,17	2,86	2,16	1,83	1,34	0,78	0,58	0,42	0,13	-0,12	-0,36	-0,60	-0,72	-0,86	-1,18	-1,40	-1,54	-1,78	-2,08	0,75	
0,80	5,50	4,63	4,24	2,89	2,18	1,84	1,34	0,78	0,58	0,41	0,12	-0,13	-0,37	-0,60	-0,73	-0,86	-1,17	-1,38	-1,52	-1,74	-2,02	0,80	0,22
0,85	5,62	4,72	4,31	2,92	2,20	1,85	1,34	0,78	0,58	0,40	0,12	-0,14	-0,38	-0,60	-0,73	-0,86	-1,16	-1,36	-1,49	-1,70	-1,96	0,85	
0,90	5,73	4,80	4,38	2,96	2,22	1,86	1,34	0,77	0,57	0,40	0,11	-0,15	-0,38	-0,61	-0,73	-0,85	-1,15	-1,35	-1,47	-1,66	-1,90	0,90	0,25
0,95	5,84	4,88	4,46	2,99	2,24	1,87	1,34	0,76	0,56	0,39	0,10	-0,16	-0,38	-0,62	-0,73	-0,85	-1,14	-1,34	-1,44	-1,62	-1,84	0,95	
1,00	5,96	4,97	4,53	3,02	2,25	1,88	1,34	0,76	0,55	0,38	0,09	-0,16	-0,39	-0,62	-0,73	-0,85	-1,13	-1,32	-1,42	-1,59	-1,79	1,00	0,28
1,05	6,07	5,05	4,60	3,06	2,26	1,88	1,34	0,75	0,54	0,37	0,08	-0,17	-0,40	-0,62	-0,74	-0,85	-1,12	-1,30	-1,40	-1,56	-1,74	1,05	
1,10	6,18	5,13	4,67	3,09	2,28	1,89	1,34	0,74	0,54	0,36	0,07	-0,18	-0,41	-0,62	-0,74	-0,85	-1,10	-1,28	-1,38	-1,52	-1,68	1,10	0,31
1,15	6,30	5,22	4,74	3,12	2,30	1,90	1,34	0,74	0,53	0,36	0,06	-0,18	-0,42	-0,62	-0,74	-0,84	-1,09	-1,26	-1,36	-1,48	-1,63	1,15	
1,20	6,41	5,30	4,81	3,15	2,31	1,91	1,34	0,73	0,52	0,35	0,05	-0,19	-0,42	-0,63	-0,74	-0,84	-1,08	-1,24	-1,33	-1,45	-1,58	1,20	0,34
1,25	6,52	5,38	4,88	3,18	2,32	1,92	1,34	0,72	0,52	0,34	0,04	-0,20	-0,42	-0,63	-0,74	-0,84	-1,07	-1,22	-1,30	-1,42	-1,53	1,25	
1,30	6,64	5,46	4,95	3,21	2,34	1,92	1,34	0,72	0,51	0,33	0,04	-0,21	-0,43	-0,63	-0,74	-0,84	-1,06	-1,20	-1,28	-1,38	-1,48	1,30	0,37
1,35	6,76	5,54	5,02	3,24	2,36	1,93	1,34	0,72	0,50	0,32	0,03	-0,22	-0,44	-0,64	-0,74	-0,84	-1,05	-1,18	-1,26	-1,35	-1,44	1,35	
1,40	6,87	5,63	5,09	3,27	2,37	1,94	1,34	0,71	0,49	0,31	0,02	-0,22	-0,44	-0,64	-0,73	-0,83	-1,04	-1,17	-1,23	-1,32	-1,39	1,40	0,39
1,45	6,98	5,72	5,36	3,30	2,38	1,94	1,34	0,70	0,48	0,30	0,01	-0,23	-0,44	-0,64	-0,73	-0,82	-1,03	-1,15	-1,21	-1,29	-1,35	1,45	
1,50	7,09	5,80	5,23	3,33	2,39	1,95	1,33	0,70	0,47	0,30	0,00	-0,24	-0,45	-0,64	-0,73	-0,82	-1,02	-1,13	-1,19	-1,26	-1,31	1,50	0,42
1,55	7,20	5,88	5,30	3,36	2,40	1,96	1,33	0,69	0,46	0,29	-0,01	-0,24	-0,46	-0,64	-0,73	-0,82	-1,00	-1,12	-1,16	-1,23	-1,28	1,55	
1,60	7,31	5,96	5,37	3,39	2,42	1,96	1,33	0,68	0,46	0,28	-0,02	-0,25	-0,46	-0,64	-0,73	-0,81	-0,99	-1,10	-1,14	-1,20	-1,24	1,60	0,45

180

1,65 7,42 6,04 5,44 3,42 2,43 1,96 1,32 0,67 0,45 0,27 -0,02 -0,26 -0,46 -0,64 -0,72 -0,81 -0,98 -1,08 -1,12 -1,17 -1,20 1,65

продолжение прил. 5

Обеспеченность P , %																							
Cs	0,01	0,05	0,1	1	3	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	97	99	99,9	Cs	S
1,70	7,54	6,12	5,50	3,44	2,44	1,97	1,32	0,66	0,44	0,26	-0,03	-0,27	-0,47	-0,64	-0,72	-0,81	-0,97	-1,06	-1,10	-1,14	-1,17	1,70	0,48
1,75	7,65	6,20	5,57	3,47	2,45	1,98	1,32	0,65	0,43	0,25	-0,04	-0,28	-0,48	-0,64	-0,72	-0,80	-0,96	-1,04	-1,08	-1,12	-1,14	1,75	
1,80	7,76	6,28	5,64	3,50	2,46	1,98	1,32	0,64	0,42	0,24	-0,05	-0,28	-0,48	-0,64	-0,72	-0,80	-0,94	-1,02	-1,06	-1,09	-1,11	1,80	0,51
1,85	7,87	6,36	5,70	3,52	2,48	1,98	1,32	0,64	0,41	0,23	-0,06	-0,28	-0,48	-0,64	-0,72	-0,80	-0,93	-1,00	-1,04	-1,06	-1,08	1,85	
1,90	7,98	6,44	5,77	3,55	2,49	1,99	1,31	0,63	0,40	0,22	-0,07	-0,29	-0,48	-0,64	-0,72	-0,79	-0,92	-0,98	-1,01	-1,04	-1,05	1,90	0,54
1,95	8,10	6,52	5,84	3,58	2,50	2,00	1,30	0,62	0,40	0,21	-0,08	-0,30	-0,48	-0,64	-0,72	-0,78	-0,91	-0,96	-0,99	-1,02	-1,02	1,95	
2,00	8,21	6,60	5,91	3,60	2,51	2,00	1,30	0,61	0,39	0,20	-0,08	-0,31	-0,49	-0,64	-0,71	-0,78	-0,90	-0,95	-0,97	-0,99	-1,00	2,00	0,57
2,05			5,99	3,63	2,52	2,00	1,30	0,60	0,39	0,20	-0,09	-0,32	-0,49	-0,64	-0,71	-0,77	-0,89	-0,94	-0,95	-0,96	-0,97	2,05	
2,10			6,06	3,65	2,53	2,00	1,29	0,60	0,38	0,19	-0,10	-0,32	-0,49	-0,64	-0,70	-0,76	-0,88	-0,93	-0,93	-0,94	-0,95	2,10	0,59
2,15			6,13	3,68	2,54	2,01	1,28	0,59	0,38	0,18	-0,10	-0,32	-0,49	-0,63	-0,70	-0,76	-0,86	-0,92	-0,92	-0,92	-0,93	2,15	
2,20			6,20	3,70	2,55	2,01	1,28	0,58	0,37	0,17	-0,11	-0,33	-0,49	-0,63	-0,69	-0,75	-0,85	-0,90	-0,90	-0,90	-0,91	2,20	0,62
2,25			6,27	3,72	2,56	2,01	1,27	0,57	0,36	0,16	-0,12	-0,34	-0,49	-0,63	-0,68	-0,74	-0,83	-0,88	-0,88	-0,89	-0,89	2,25	
2,30			6,34	3,75	2,56	2,01	1,27	0,56	0,35	0,15	-0,12	-0,34	-0,49	-0,62	-0,68	-0,73	-0,82	-0,86	-0,86	-0,87	-0,87	2,30	0,64
2,35			6,40	3,77	2,56	2,01	1,26	0,55	0,34	0,14	-0,13	-0,34	-0,50	-0,62	-0,67	-0,72	-0,81	-0,84	-0,84	-0,85	-0,85	2,35	
2,40			6,47	3,79	2,57	2,01	1,25	0,54	0,33	0,13	-0,14	-0,35	-0,50	-0,62	-0,66	-0,71	-0,79	-0,82	-0,83	-0,83	-0,83	2,40	0,67
2,45			6,54	3,81	2,58	2,01	1,25	0,54	0,32	0,13	-0,14	-0,36	-0,50	-0,62	-0,66	-0,70	-0,78	-0,80	-0,80	-0,82	-0,82	2,45	
2,50			6,60	3,83	2,58	2,01	1,24	0,53	0,32	0,12	-0,15	-0,36	-0,50	-0,61	-0,65	-0,70	-0,77	-0,79	-0,79	-0,80	-0,80	2,50	0,69
2,55			6,67	3,85	2,58	2,01	1,23	0,52	0,31	0,11	-0,16	-0,36	-0,50	-0,61	-0,65	-0,69	-0,75	-0,78	-0,78	-0,78	-0,78	2,55	
2,60			6,73	3,87	2,59	2,01	1,23	0,51	0,30	0,10	-0,17	-0,37	-0,50	-0,60	-0,64	-0,68	-0,74	-0,76	-0,76	-0,77	-0,77	2,60	0,72
2,65			6,80	3,89	2,59	2,01	1,22	0,50	0,29	0,09	-0,18	-0,37	-0,50	-0,60	-0,64	-0,67	-0,73	-0,75	-0,75	-0,75	-0,75	2,65	
2,70			6,86	3,91	2,60	2,01	1,21	0,49	0,28	0,08	-0,18	-0,38	-0,50	-0,60	-0,63	-0,67	-0,72	-0,73	-0,73	-0,74	-0,74	2,70	0,74
2,75			6,92	3,93	2,61	2,02	1,21	0,48	0,27	0,07	-0,19	-0,38	-0,50	-0,59	-0,63	-0,66	-0,71	-0,72	-0,72	-0,72	-0,73		
2,80			6,99	3,95	2,61	2,02	1,20	0,47	0,27	0,06	-0,20	-0,38	-0,50	-0,59	-0,62	-0,65	-0,70	-0,71	-0,71	-0,71	-0,71		0,76
2,85			7,05	3,97	2,62	2,02	1,20	0,46	0,26	0,05	-0,21	-0,39	-0,50	-0,59	-0,62	-0,64	-0,69	-0,70	-0,70	-0,70	-0,70		
2,90			7,12	3,99	2,62	2,02	1,19	0,45	0,26	0,04	-0,21	-0,39	-0,50	-0,58	-0,61	-0,64	-0,67	-0,68	-0,68	-0,69	-0,69		0,78
2,95			7,18	4,00	2,62	2,02	1,18	0,44	0,25	0,04	-0,22	-0,40	-0,50	-0,58	-0,61	-0,63	-0,66	-0,67	-0,67	-0,68	-0,68		
3,00			7,29	4,02	2,63	2,02	1,18	0,42	0,25	0,03	-0,23	-0,40	-0,50	-0,57	-0,60	-0,62	-0,65	-0,66	-0,66	-0,67	-0,67		0,80

181

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОСНОВНЫЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОГОДУ И КЛИМАТ.....	4
1.1. Атмосферное давление. Изменение давления с высотой.....	5
1.2. Солнечная радиация.....	9
1.3. Температура воздуха и почвы.....	16
1.4. Ветер.....	20
1.5. Вода в атмосфере.....	25
1.6. Осадки. Вычисление нормы осадков и расчетно- статистических параметров по данным метеонаблюдений.....	33
2. КЛИМАТ	39
2.1. Основные климатообразующие факторы.....	39
2.2. Классификация климатов.....	44
2.3. Типы климатов России.....	49
2.4. Определение климатологических факторов.....	51
2.5. Климатические факторы формирования стока.....	51
2.6. Определение испарения и расчёт испаряемости по величине осадков и дефициту влажности.....	56
2.7. Климатообразующая и гидрологическая роль атмосферных осадков.....	59
3. РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОДОВОГО СТОКА И ЕГО ВНУТРИГODOVОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ.....	65
3.1. Общие положения.....	65
3.2. Вычисление расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений.....	69
3.3. Расчет характеристик годового стока при недостаточности данных гидрометрических наблюдений	80
3.4. Определение расчетных характеристик речного стока	90
3.5. Определение расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений	101
3.6. ВнутригODOVое распределение стока	105
3.6.1. Общие положения.....	105

3.7. Максимальный сток.....	120
3.7.1. Определение расчётных максимальных расходов воды при наличии данных гидрометрических наблюдений.....	120
3.7.2. Определение расчетных максимальных расходов талых вод при отсутствии данных гидрометрических наблюдений.....	129
3.7.3. Определение расчётных максимальных расходов воды дождевых паводков.....	137
3.7.4. Расчетные гидрографы стока воды рек весеннего половодья и дождевых паводков.....	144
3.8. Минимальный сток рек.....	148
ЛИТЕРАТУРА.....	161
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	162