

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М.В.ЛОМОНОСОВА

Географический факультет

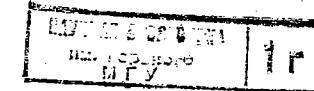
ЗПК
6263

31711 АН. 21
F-263 Евстигнеев В.М.
Бюджетные работы
по курсу "реки"
счета и гидрологиче-
ские расчеты.
1991 05.0101

АН. 21

В.М.Евстигнеев

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО КУРСУ
"РЕЧНОЙ СТОК И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ"



Издательство Московского университета

1991

ББК 26.222.5

Е 26

УДК [556.16 + 556.048] (076.5)

Рецензенты: д-р геогр. наук В.Н.Михайлов,
канд. геогр. наук В.А.Скорняков

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Московского университета

Е 26

Евстигнеев В.М. Практические работы по курсу "Речной сток и гидрологические расчеты". Учеб. пособие. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 70 с.: ил.

ISBN 5-211-02122-3

Пособие предназначено для практических работ студентов-гидрологов 1У курса. Оно имеет целью научить студентов основным приемам расчетов речного стока для водохозяйственного проектирования в строгом соответствии с современными строительными нормами. Весь цикл практических работ скомпонован в 25 заданий. Пособие содержит необходимые номограммы, таблицы и картотемы.

077 (02) - 91 - заказное

ББК 26.222.5

ISBN 5-211-02122-3

© Московский государственный
университет, 1991

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания предназначены для студентов кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ, выполняющих практические работы по курсу "Речной сток и гидрологические расчеты". Задания подобраны в пяти темах таким образом, чтобы охватить основные виды расчетов стока, необходимые в практике строительного проектирования. При этом следует иметь в виду, что значительная часть данных, полученных студентом в процессе выполнения заданий, будет использована на практических занятиях по курсу "Водохозяйственные расчеты" в качестве исходного материала.

Все упражнения скомпонованы в 25 заданий, на выполнение которых требуется около 60 часов. Поскольку по учебному плану на практические работы может быть отведено меньшее количество часов, часть заданий по усмотрению преподавателя может быть опущена либо выполнена студентами самостоятельно.

При составлении пособия использованы действующие строительные нормы и методические руководства по определению гидрологических характеристик, разработанные Государственным гидрологическим институтом. Необходимые выkopировки карт, таблиц и графиков из указанных пособий имеются в настоящих методических указаниях. Картографические материалы даны для сравнительно небольшой территории — центра европейской части СССР с тем, чтобы избежать уменьшения масштаба карт гидрологических параметров и включения в пособие большого объема графических материалов.

К каждому заданию студенты составляют краткую пояснительную записку, в которой должна быть изложена последовательность расчетов и анализ точности полученных данных. Текст и графики помещаются на листах стандартного размера 203 x 288 мм. После выполнения всех заданий материалы должны быть сброшюрованы и снажены обложкой.

Таблица 1

Доверительные интервалы для эмпирической ежегодной вероятности превышения (1/, прил.4)

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

Тема 1

ГОДОВОЙ СТОК

Задание 1

Расчеты годового стока по имеющемуся ряду наблюдений

Требуется:

- определить параметры кривой обеспеченности по методам моментов, наибольшего правдоподобия и графоаналитическому; сравнить полученные таким образом оценки среднемноголетнего расхода Q_o , коэффициента вариации C_V и коэффициента асимметрии C_S ;
- определить расходы обеспеченности 10, 25, 50, 75, 80, 90, 95%.

Дано:

- ряд среднегодовых расходов воды;
- номограмма для определения C_V и C_S/C_V методом приближенного наибольшего правдоподобия (1/, прил. 1, с. 16–18);
- районный коэффициент автокорреляции γ_1 (сообщается преподавателем);
- таблицы координат трехпараметрического гамма-распределения (2/, прил. 2, табл. 3) и таблицы нормированных отклонений ординат биномиальной кривой (2/, прил. 2, табл. 4).

Порядок выполнения

- Построить эмпирическую кривую обеспеченности среднегодовых расходов воды. Эмпирическую обеспеченность следует вычислять по формуле:

$$P_m = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%,$$

где m – номер расхода в убывающем порядке величин, n – длина ряда. Провести сглаженную кривую обеспеченности по эмпирическим точкам. Показать доверительные интервалы для эмпирических оценок обеспеченности наибольшего и наименьшего члена ряда наблюдений по данным табл. 1.

4

- Методом моментов оценить Q_o , \bar{C}_V и \bar{C}_S :

$$Q_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i; \quad \bar{C}_V = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n-1}}; \quad \bar{C}_S = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \cdot \frac{\sum (K_i - 1)^3}{\bar{C}_V^3},$$

где K_i – модульные коэффициенты, $K_i = Q_i/Q_o$.

Учесть поправки на систематическое смещение оценок \bar{C}_V и \bar{C}_S , вычислив

$$C_V = (a_1 + \frac{1}{n} a_2) + (a_3 + \frac{1}{n} a_4) \bar{C}_V + (a_5 + \frac{1}{n} a_6) \bar{C}_V^2,$$

$$C_S = (b_1 + \frac{1}{n} b_2) + (b_3 + \frac{1}{n} b_4) \bar{C}_S + (b_5 + \frac{1}{n} b_6) \bar{C}_S^2,$$

где a_1, \dots, a_6 и b_1, \dots, b_6 – коэффициенты, определяемые по табл. 2 и 3.

- Методом наибольшего правдоподобия оценить Q_o , C_V и C_S/C_V : $Q_o = \frac{1}{n} \sum Q_i$, C_V и C_S/C_V определяются по номограммам через статистики λ_2 , λ_3 , где

$$\lambda_2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \lg K_i; \quad \lambda_3 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n K_i \lg K_i.$$

Таблица 2

Значения коэффициентов $\alpha_1 \dots \alpha_6$ (1/, прил. 2)

C_s/C_v	τ_1	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6
2	0	0	0,19	0,99	-0,88	0,01	1,54
	0,3	0	0,22	0,99	-0,41	0,01	1,51
	0,5	0	0,18	0,98	0,41	0,02	1,47
3	0	0	0,69	0,98	-4,34	0,01	6,78
	0,3	0	1,15	1,02	-7,53	-0,04	12,4
	0,5	0	1,75	1,00	-11,8	-0,05	21,1
4	0	0	1,36	1,02	-9,68	-0,05	15,6
	0,3	-0,02	2,61	1,13	-19,8	-0,22	34,2
	0,5	-0,02	3,47	2,18	-29,7	-0,41	58,1

Таблица 3

Значения коэффициентов $\beta_1 \dots \beta_6$ (1/, прил. 3)

τ_1	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
0	0,03	-2,00	0,92	-5,09	0,03	8,10
0,3	0,03	1,77	0,93	-3,45	0,03	8,03
0,5	0,03	1,63	0,92	-0,97	0,03	7,94

4. Оценить Q_o , C_v и C_s графоаналитическим методом. Для этого снять со сглаженной эмпирической кривой обеспеченности (п.1) значения квантилей $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$ и $Q_{95\%}$ и вычислить коэффициент склонности S .

$$S = \frac{Q_5 + Q_{95} - 2Q_{50}}{Q_5 - Q_{95}}$$

Из табл. 4 выписать значения C_s и нормированных отклонений Φ_s , Φ_{50} , Φ_{95} в зависимости от S и вычислить:

$$\text{среднее квадратическое отклонение } \sigma = \frac{Q_5 - Q_{95}}{\Phi_s - \Phi_{95}}$$

средний многолетний расход $Q_o = Q_{50} - \sigma \Phi_{50}$,коэффициент вариации $C_v = \sigma/Q_o$.

Таблица 4

Вспомогательная таблица для расчета параметров кривой обеспеченности графоаналитическим методом

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

5. Вычислить ошибки оценок параметров Q_o

$$E_{Q_o} = \frac{100 C_V}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1+\zeta_1}{1-\zeta_1}}, \%$$

и C_V , полученные методом моментов:

$$\sigma_{C_V} = \frac{C_V}{n+4C_V^2} \sqrt{\frac{n(1+C_V^2)}{2}} \cdot \left(1 + \frac{3C_V\zeta_1}{1+\zeta_1}\right)$$

и методом наибольшего правдоподобия (без учета ζ_1):

$$\sigma_{C_V} = \frac{C_V}{\sqrt{2n}} \sqrt{\frac{3}{3+C_V^2}}.$$

Вычислить ошибку оценки коэффициента C_S , полученной методом моментов:

$$\sigma_{C_S} = \sqrt{\frac{6}{n}(1+C_V^2)}.$$

Примечание. Ошибки оценок графоаналитическим методом примерно равны ошибкам метода моментов.

6. Сравнить оценки Q_o , C_V и C_S , полученные тремя различными методами с учетом ошибок определения.

7. Построить аналитические кривые гамма-распределения по параметрам Q_o и C_V , полученным в пп. 2-3.

Соотношение C_S/C_V следует принимать как среднее из значений, установленных по данным группы рек с наиболее продолжительными наблюдениями за рассматриваемой гидрологической характеристикой в гидрологически однородном районе (сообщается преподавателем или получается как обобщение результатов расчетов C_S/C_V группой студентов пп. 2-3 настоящего задания).

8. Произвести приближенную оценку точности расчета расходов различной обеспеченности по данным, полученным методом статистических испытаний*.

Средняя квадратическая ошибка выборочного квантиля определяется по формуле:

$$\sigma_{K_p} = E_p / n^\alpha,$$

в которой значения E_p и α определяются в зависимости от C_V .

* Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеоиздат, 1977.

C_S/ζ_1 и α . В диапазоне C_V от 0,1 до 0,7 можно α принять 0,5. Значения E_p для $C_S=2C_V$ и $\zeta_1=0$ приведены в табл. 5. Относительную ошибку определения квантиля оценить как

$$\varepsilon_{K_p} = \frac{\sigma_{K_p}}{K_p} \cdot 100\%.$$

Таблица 5

Значения $E_p = \sigma_{K_p} n^\alpha$ при двух параметрах (X_o и C_V), определяемых по выборочным данным*

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

* Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. Прил. XIIIa.

Задание 2

Оценка репрезентативности периода наблюдений

Требуется:

построить разностно-интегральную кривую стока по реке-аналогу и оценить репрезентативность периода наблюдений по расчетному створу.

Дано:

ряд среднегодовых расходов по опорному створу N лет; коэффициент вариации годового стока расчетного створа C_V расч из задания 1.

Порядок выполнения

1. По ряду-аналогу вычислить модульные коэффициенты K_i в хронологическом порядке и коэффициент вариации C_{Va}
2. Построить нормированную разностно-интегральную кривую

$$S_m = \frac{1}{C_{Va}} \sum_{i=1}^m (K_i - 1), \quad i = 1, 2, 3 \dots m, \dots N.$$

3. Вычислить среднюю водность за период наблюдений по расчетному створу:

$$K_{cp} = 1 + C_{V\text{расч}} \frac{S_{\text{кон}} - S_{\text{нач}}}{n},$$

где $S_{\text{кон}}$ и $S_{\text{нач}}$ — конечная и начальная ординаты нормированной разностно-интегральной кривой.

4. Вычислить параметры кривой обеспеченности Q_0 и C_V по реке-аналогу за период наблюдений на расчетном створе n лет и за период N лет, построить эмпирические кривые обеспеченности за эти периоды (увеличение кривых обеспеченности (и статистических параметров), полученных за рассматриваемые n лет и весь ряд наблюдений по створу-аналогу N лет, свидетельствует о репрезентативности периода наблюдений в расчетном створе).

Задание 3

Приведение параметров кривых обеспеченности годового стока к многолетнему периоду

Требуется:

подобрать аналог для приведения статистических параметров кривых обеспеченности годового стока к многолетнему периоду и выполнить указанное приведение;

определить расходы обеспеченностью 1, 5, 10, 25, 50, 75, 80, 90, 95, 97 и 99%.

Дано:

ряды среднегодовых расходов воды в районе расположения расчетного створа.

Порядок выполнения

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

10

Построить графики связи между значениями годового стока в расчетном створе и в створах, намеченных в качестве аналога. Выбрать створ, имеющий наиболее тесную линейную связь с расчетным.

2. Построить графики связи между значениями годового стока в расчетном створе и в створах, намеченных в качестве аналога. Выбрать створ, имеющий наиболее тесную линейную связь с расчетным.

3. Вычислить коэффициент корреляции τ . Если $\tau > 0,8$, то выбранный створ принять в качестве аналога; если $\tau < 0,8$, то следует продолжить работу по подбору аналога.

4. Вычислить среднее многолетнее значение годового стока по реке-аналогу за весь период наблюдений \bar{Q}_{NA} и среднеквадратичное отклонение σ_{NA} .

5. Составить уравнение регрессии и по нему определить приведенное к периоду наблюдений N лет среднемноголетнее значение годового стока в расчетном створе.

$$\bar{Q}_{N\text{расч}} = f(\bar{Q}_{NA}).$$

6. Вычислить приведенную величину среднеквадратического отклонения по расчетному створу

$$\sigma_{N\text{расч}} = \sigma_{N\text{расч}} \sqrt{1 + \tau^2 \left(1 - \frac{\sigma_{NA}^2}{\sigma_{N\text{расч}}^2} \right)}$$

и приведенную величину коэффициента изменчивости

$$C_{VN\text{расч}} = \sigma_{N\text{расч}} / \bar{Q}_{N\text{расч}}.$$

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

$$\epsilon_a = \frac{100 \sigma_n}{\bar{Q} \sqrt{n}} \sqrt{1 + \tau^2 \left(\frac{n}{N} \frac{\sigma_{NA}^2}{\sigma_{N\text{расч}}^2} - 1 \right)}.$$

8. Сравнить полученную в п.7 ошибку с ошибкой неприведенного ряда из задания 1.

9. По уточненным (приведенным) параметрам кривой обеспеченности определить среднегодовые расходы обеспеченностью 10, 50 и 90% и сравнивать их с ранее полученными (до приведения — задание 1). Соотношение C_s/C_V взять прежним (задание 1).

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

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

11

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

Задание 4

Расчет годового стока при отсутствии материалов гидрометрических наблюдений

Требуется:

определить параметры кривой обеспеченности годового стока Q_0 и C_V .

Дано:

C_V годового стока соседних с изучаемым водосбором рек.

Порядок выполнения

- Снять с карты (рис. 1) значение среднего многолетнего модуля стока: для центра водосбора неизученной реки оно определяется путем прямолинейной интерполяции между изолиниями стока; в случае пересечения водосбора несколькими изолиниями искомая величина вычисляется как средневзвешенное по площадям значение:

$$M_{cp} = \frac{\sum M_i f_i}{F},$$

где M_i — средние значения между соседними изолиниями; f_i — соответствующие им частные площади водосбора.

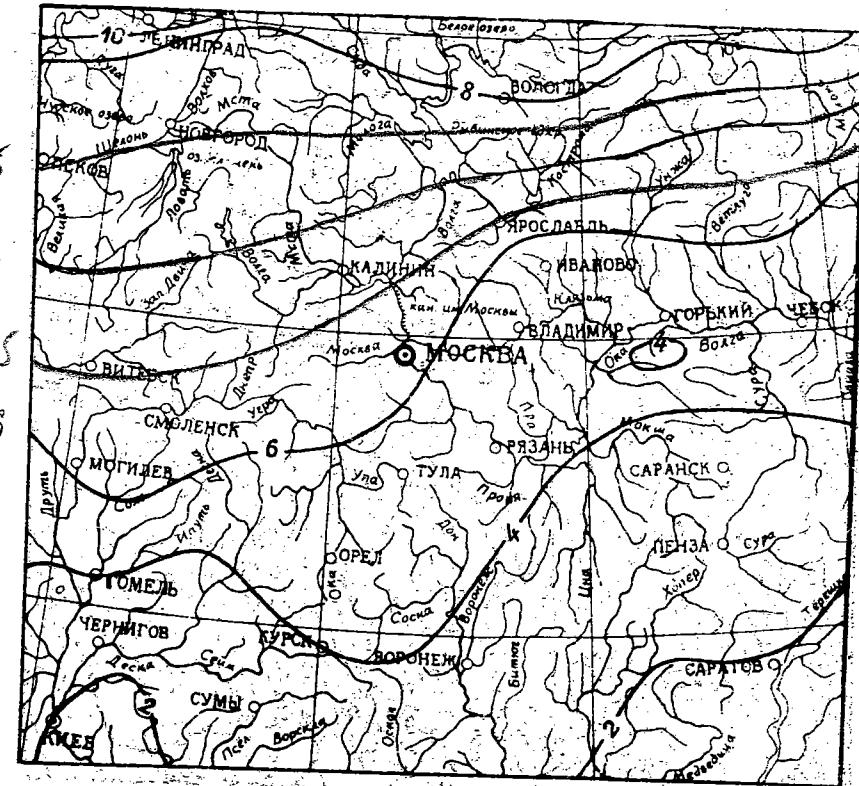
- Значение C_V годового стока определить аналогично по карте (рис. 2).

- Использовать результаты расчетов п.5 задания 3, выписав значения модулей стока ближайших водосборов; нанести значения на карту и путем линейной интерполяции определить средний многолетний модуль стока неизученного водосбора.

- Выписать C_V годового стока нескольких соседних с изучаемым водосбором бассейнов, а затем обратиться к формуле

$$C_V = \frac{A}{M^{0.4}(F+1000)^{0.1}}.$$

Вычислить обратным путем параметр A для рек-аналогов. Проанализировать экстремальные значения A с учетом влияния местных факторов (карст, заболоченность, озерность) и длительности рядов на-



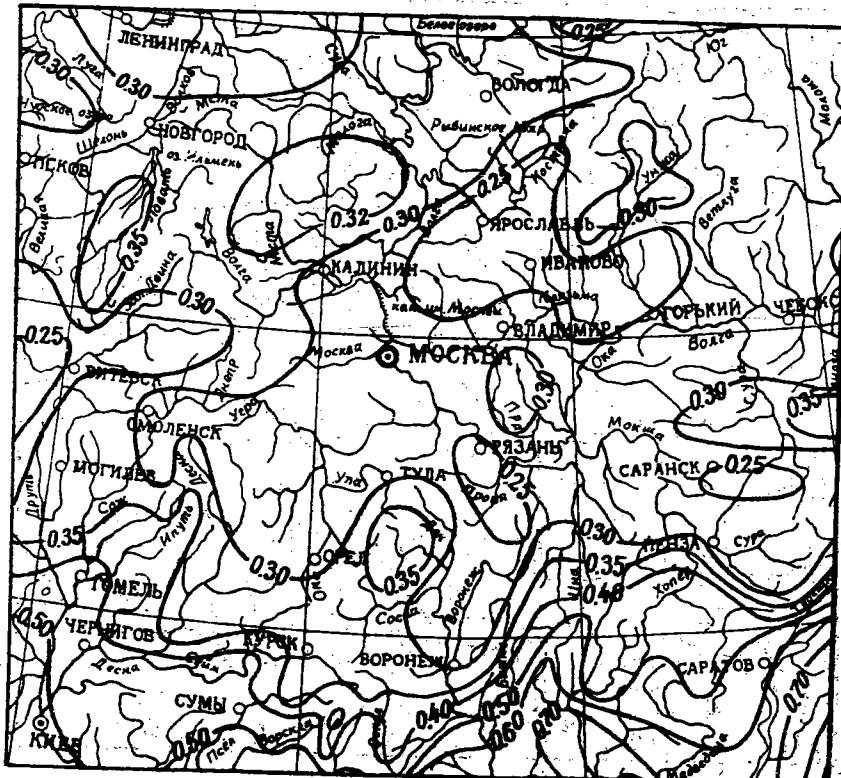
Масштаб 1 : 10 000 000

Рис. 1. Среднемноголетний годовой сток рек, м³/с·км²
(2/, прил. 1, лист 1)

блюдений. Принять значение A по реке-аналогу либо по группе рек, определить C_V расчетного ряда по формуле.

- Принять соотношение C_s/C_V по карте рис. 2.

- Вычислить значение годового стока обеспеченностью 10, 50 и 90% по параметрам, определенным согласно 1, 2, 3 и 4, сопоставить полученные величины между собой и с аналогичными величинами, определенными при наличии материалов наблюдений.



Масштаб 1 : 10 000 000

Рис. 2. Коэффициент вариации годового стока рек
(/2/, прил. чист 1)

Тема 11

ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА

Задание 5

Расчет распределения стока по сезонам года методом компоновки

Требуется:

определить величины сезонного стока в году 90 и 95%-ной обеспе-

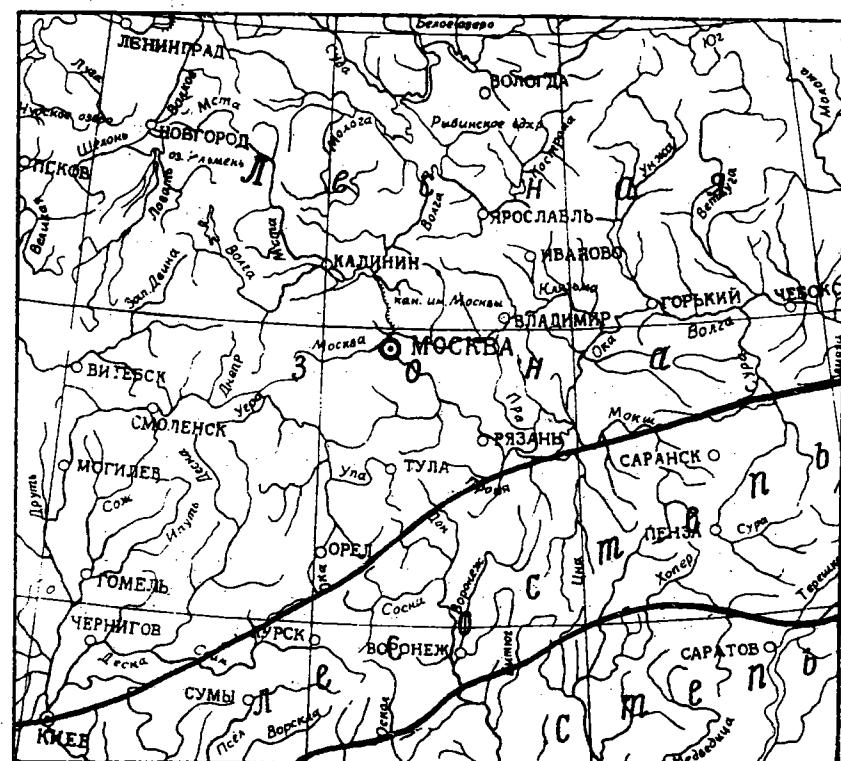
ченности (преподаватель может назначить дополнительно и другие обес-
печенности).

Дано:

среднемесячные расходы воды за n календарных лет.

Порядок выполнения

- Переписать среднемесячные расходы по водохозяйственным годам (от начала многоводного периода).
- Назначить три сезона, ориентируясь на данные табл. 6 и имею-
щийся материал наблюдений.



Масштаб 1 : 10 000 000

Рис.3. Физико-географическое районирование (/2/, прил. 4)

Таблица 6

Примерные сроки основных гидрологических сезонов
в разных районах европейской территории СССР

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

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

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

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

многоводный сезон (половодье) — П,

лимитирующий период — ЛП,

лимитирующий сезон — ЛС

второй (нелимитирующий) сезон лимитирующего периода — НС,

весь водохозяйственный год — Г.

4. Построить эмпирические кривые обеспеченности перечисленных выше величин: $P_n(P)$, $P_n(LP)$, $P_n(LS)$, $P_n(HS)$, $P_n(G)$; вычислить параметры кривых обеспеченности.

5. Определить величины Г, ЛП, ЛС заданной обеспеченности P , остальные (П, НС) — вычислить по разности:

$$P = G_p - LP_p$$

$$HS = LP_p - LS_p$$

6. Проверить качество компоновки, определив $P(P)$ и $P(HS)$. Если полученные обеспеченности больше заданной, то допущена ошибка в расчетах.

7. Построить два графика связи равнообеспеченных значений модульных коэффициентов вида:

$$K_{LP} = f_1(K_r) \quad \text{и} \quad K_{LS} = f_2(K_{LP}).$$

Примечание. Эти графики потребуются для выполнения задания 11.

Задание 6

Расчет внутрисезонного распределения

Требуется:

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

Дано:

среднемесячные расходы по водохозяйственным годам (из задания 5).

Порядок выполнения

1. Разбить имеющуюся совокупность сезонов на три группы: многоводные ($P < 33\%$), средние ($33 \leq P \leq 66\%$) и маловодные ($P > 66\%$).

Примечание. Если продолжительность периода наблюдений менее 12–15 лет, то деление сезонов на группы не производится.

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

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

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

3. Расчетные величины сумм среднемесячных расходов за сезон (см. задание 5) перемножить на полученные доли.

4. Полученные среднемесячные расходы заданной обеспеченности за год свести в единую таблицу и проверить правильность расчета их суммированием.

Примечание. Сумма среднемесячных расходов должна равняться величине Γ_p , где P — заданная обеспеченность

Задание 7

Выбор расчетного года по обеспеченности лимитирующих периода, сезона и месяца

Требуется:

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

Такое:

см. задание 5.

Порядок выполнения

1. Для всего ряда наблюдений выписать суммы месячных расходов за год, лимитирующие период и сезон и минимальный месячный расход, при этом использовать результаты вычислений задания 5, п.3.

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

3. Из числа имеющихся выбрать год, в котором обеспеченности для года, лимитирующего периода и лимитирующего сезона, и также минимального месячного расхода наиболее близки к заданной обеспеченности.

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

5. Определить величины месячных и сезонных расходов воды (m^3/c) умножением годовой суммы расходов Γ_p (см. задание 5) на относительное распределение выбранного года.

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

Задание 8.

Выбор года из числа фактических по оценке дефицитов стока

Требуется:

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

Дано:

среднемесячные расходы по водохозяйственным годам; расход отдачи q .

Порядок выполнения

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

$$D = qT_d - \sum Q_{\text{мес.}}$$

2. Суммы среднемесячных расходов за водохозяйственные годы расположить в порядке убывания, а величины дефицитов D — в порядке возрастания. У каждой из величин Γ и D выписать та же эмпирическую обеспеченность годового стока $P_m(\Gamma)$, которой соответствует (на том же месте ранжировки) обеспеченность дефицита $100 - P$.

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

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

5. Умножить годовой сток заданной обеспеченности Γ_p (см. задание 5) на полученные доли, абсолютные величины среднемесячных расходов свести в годовую таблицу.

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

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

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

Задание 9

- 1) определение ординат кривой продолжительности суточных расходов воды и коэффициента естественной зарегулированности

Требуется:

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

Дано:

таблица ежедневных расходов воды (прилагается по усмотрению преподавателя).

Порядок выполнения

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

$$Q(1) \geq Q(2) \geq \dots \geq Q(T) \geq Q(T+1) \geq \dots \geq Q_{365}.$$

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

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

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

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^{365} Q_{\delta_i}}{365 Q_0},$$

где $Q_{\delta_i} = \begin{cases} Q_0 & \text{если } Q_i \geq Q_0 \\ Q_i & \text{если } Q_i < Q_0, \end{cases}$

Q_0 — здесь среднегодовой расход.

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

$$\varphi = W_\delta / W_r,$$

где W_δ — базисный сток, который соответствует площади, ограниченной кривой продолжительности ниже линии среднегодового расхода; W_r — объем годового стока, определяемый как площадь всей фигуры, находящейся под кривой продолжительности.

Указание. W_r можно вычислить как произведение $Q_0 T$, т.е. площадь квадрата $Q_0 \times T$, где T — длина отрезка (в принятом масштабе), равном году.

6. Сравнить величины φ , полученные методом суммирования по таблице ежедневных расходов воды и графически — по кривой продолжительности.

7. Вычислить коэффициент внутригодовой неравномерности стока:

$$d = 1 - \varphi.$$

Задание 10

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

Требуется:

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

Дано:

таблица характерных расходов воды за период наблюдений; таблицы ежедневных расходов воды за период наблюдений.

Порядок выполнения

1. Выбрать из таблиц ежедневных расходов воды данные о ежегодных значениях максимальных и минимальных среднесуточных расходов и добавить их к имеющимся сведениям о ежегодных значениях расходов продолжительностью 30, 90, 180, 270 и 355 дней.

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

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

4. Определить по средней кривой продолжительности коэффициент естественной зарегулированности Φ_0^* .

5. Построить кривые продолжительности за каждый год и по ним определить коэффициенты естественной зарегулированности Φ_i .

6. Вычислить среднее многолетнее значение $\Phi_0 = \sum \Phi_i / n$ и сравнить его с Φ_0^* .

7. Построить график связи ежегодных значений коэффициента Φ_i с модульными коэффициентами годового стока $K_i = Q_i / Q_0$. Проанализировать характер зависимости $\Phi = \Phi(K)$.

Задание 11

Расчеты внутригодового распределения стока при недостаточности материалов гидрометрических наблюдений

Требуется:

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

Дано:

среднемесячные расходы воды по трем-четырем годам наблюдений (по усмотрению преподавателя);

материалы расчетов внутригодового распределения стока на изученных реках района;

гидрографические характеристики изученных бассейнов района (площадь, залесенность, заболоченность, сзерность), характеристики среднего многолетнего стока, почво-грунтов, гидрогеологические условия, рельеф, климатические характеристики.

Порядок выполнения

1. Подобрать реку-аналог, руководствуясь следующими признаками:

а) близкие климатические условия;

б) близкие показатели среднего многолетнего стока;

в) сходные условия подстилающей поверхности (рельеф, почво-грунты, гидрогеологические условия, залесенность, заболоченность, озерность);

г) близкие размеры площади F водосбора (разница в величине $R_g F$ не более, чем на 1-1,5).

2. Провести обоснование аналогии по имеющимся 3-4 годам наблюдений:

а) перевести среднемесячные расходы воды в слои стока (мм)

22

по расчетному створу и створу-аналогу за каждый имеющийся год;

б) вычислить слои стока по сезонам и за год;

в) вычислить относительное распределение стока по месяцам внутри сезонов;

г) сопоставить соответствующие слои стока и доли месячного стока внутри сезонов по расчетному створу и створу-аналогу за совместный период наблюдений.

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

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

а) норму стока (мм слоя) $h_{\text{г}}$ и $C_{\text{г}}$ годового стока взять по материалам задания 4, соотношение $C_{\text{г}} / C_{\text{р}}$ принять по реке-аналогу, вычислить слой годового стока заданной обеспеченности $h_{\text{г},\text{р}}$ и его модульный коэффициент $K_{\text{г},\text{р}}$;

б) установить средние величины стока лимитирующего периода $\bar{h}_{\text{лп}}$ и лимитирующего сезона $\bar{h}_{\text{лс}}$ умножением нормы годового стока $h_{\text{г}}$ на долю лимитирующих периода и сезона по реке-аналогу;

в) определить величину модульного коэффициента лимитирующего периода $K_{\text{лп}}$, использовав для этого график связи равнобеспеченных значений модульных коэффициентов вида $K_{\text{лп}} = f(K_{\text{г}})$ по реке-аналогу;

г) аналогично, по графику связи $K_{\text{лс}} = f(K_{\text{лп}})$ определить величину модульного коэффициента лимитирующего сезона;

д) определить величины стока (мм слоя) заданной обеспеченности за лимитирующий период и сезон:

$$h_{\text{лп},\text{р}} = \bar{h}_{\text{лп}} \cdot K_{\text{лп},\text{р}} ; h_{\text{лс},\text{р}} = \bar{h}_{\text{лс}} \cdot K_{\text{лс},\text{р}} ;$$

е) вычислить как разности величины стока нелимитирующего периода $h_{\text{п}}$ и нелимитирующего сезона $h_{\text{нс}}$:

$$h_{\text{п}} = h_{\text{г},\text{р}} - h_{\text{лп},\text{р}} ; h_{\text{нс}} = h_{\text{лп},\text{р}} - h_{\text{лс},\text{р}} .$$

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

5. Свести полученные таким образом слои месячного стока в году

23

расчетной обеспеченности в единую таблицу и перевести их в среднемесячные расходы.

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

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

а) определить коэффициенты вариации за лимитирующий период и сезоны $C_{V_{лп}}$ и $C_{V_{лс}}$ по соотношениям:

$$C_{V_{лп}} = C_{V_r} \cdot m_{лп}; \quad C_{V_{лс}} = C_{V_{лп}} \cdot m_{лс},$$

где коэффициенты $m_{лп}$ и $m_{лс}$ принимаются по реке-аналогу;

б) по принятым параметрам \bar{h} и C_V определить слои заданной обеспеченности $h_{лп,р}$ и $h_{лс,р}$.

Тема III

МИНИМАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ ВОДЫ

Задание 12

Определение минимальных 30-дневных расходов воды по таблицам ежедневных расходов воды

Требуется:

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

Дано:

таблицы ежедневных расходов воды.

Порядок выполнения

1. Просмотреть таблицы ежедневных расходов воды за данные годы.

24

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

2. Построить гидрографы с учетом предупреждения к п. 1, т.е. с начала зимнего периода в конце предшествующего календарного года.

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

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

Примечание. Если длительный меженный период прерывается значительными паводками, то можно использовать более короткий период, но не менее 23 суток.

5. Сравнить полученные величины с минимальными среднемесячными расходами.

Задание 13

Расчеты минимального стока при наличии гидрометрических наблюдений

Требуется:

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

Дано:

таблица "Ежегодные сведения о расходах воды".

Порядок выполнения

Аналогичен, принятому в задании 1.

Примечание. В случаях неудовлетворительного соответствия аналитических и эмпирической кривых обеспеченности в качестве расчетной принимается стяженная эмпирическая кривая обеспеченности.

Задание 14

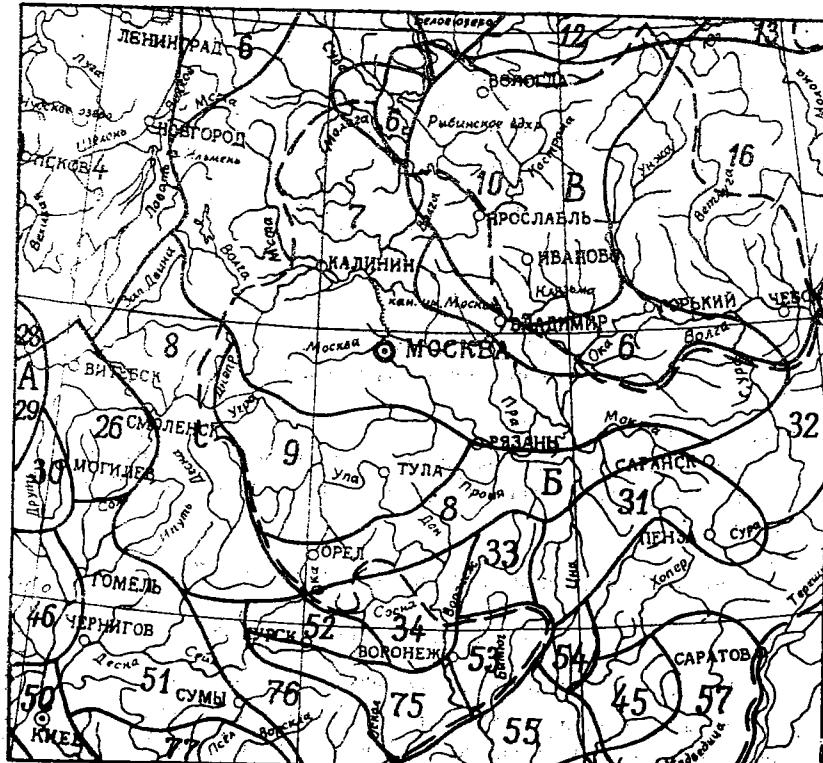
Определение минимальных расходов
при отсутствии материалов наблюдений

Требуется:

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

Дано:

площадь бассейна F



Масштаб 1 : 10 000 000

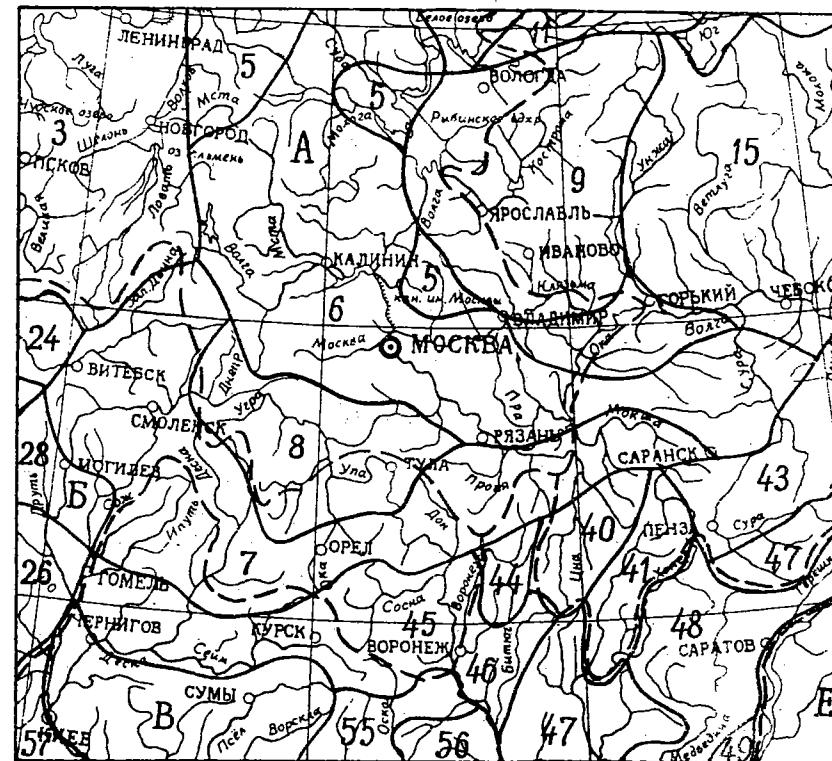
Рис.4. Районирование параметров для определения минимального 30-суточного расхода воды вероятностью превышения 80% на малых реках в зимний период (1/2, прил. 1, лист 19)

26

Порядок выполнения

1. Определить категорию реки (малая и средняя) по площади бассейна, используя табл. 7 и карты (рис. 4, 5), отдельно для зимнего и летне-осеннего периодов.

2. Если река относится к категории средних рек, то для определения 30-дневных минимальных расходов 80%-ной обеспеченности использовать карты модулей стока (рис. 6, 7).



Масштаб 1 : 10 000 000

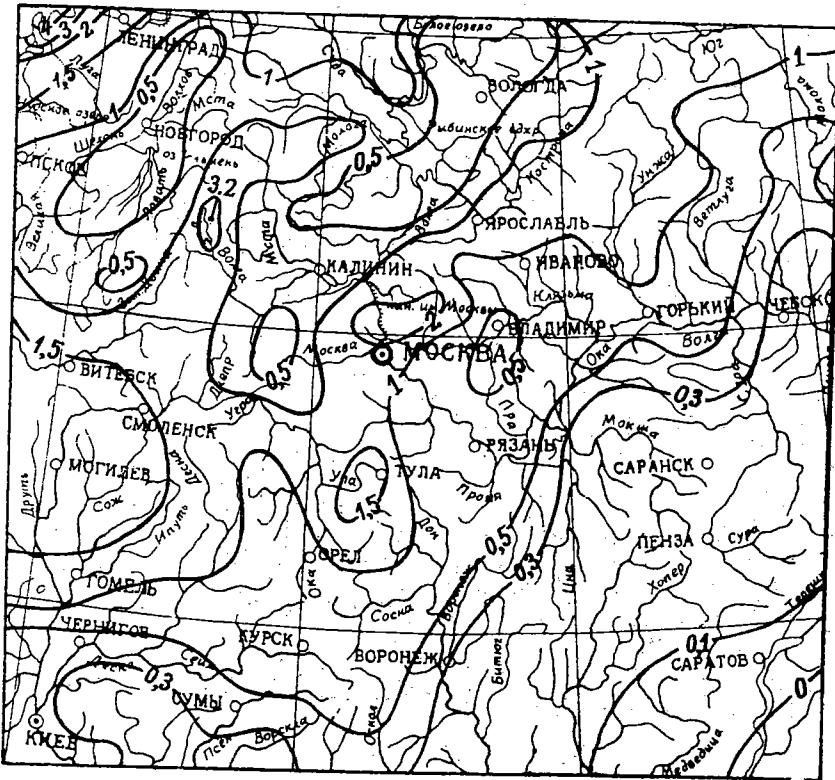
Рис.5. Районирование параметров для определения минимального 30-суточного расхода воды вероятностью превышения 80% на малых реках в летне-осенний период (1/2, прил. 1, лист 20)

27

Таблица 7

Наибольшие площади бассейнов малых рек, км² (/2/, табл. 31)

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



Масштаб 1 : 10 000 000

Рис.6. Минимальный 30-суточный зимний сток рек вероятностью превышения 80% (/2/, прил. 1, лист 17)

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

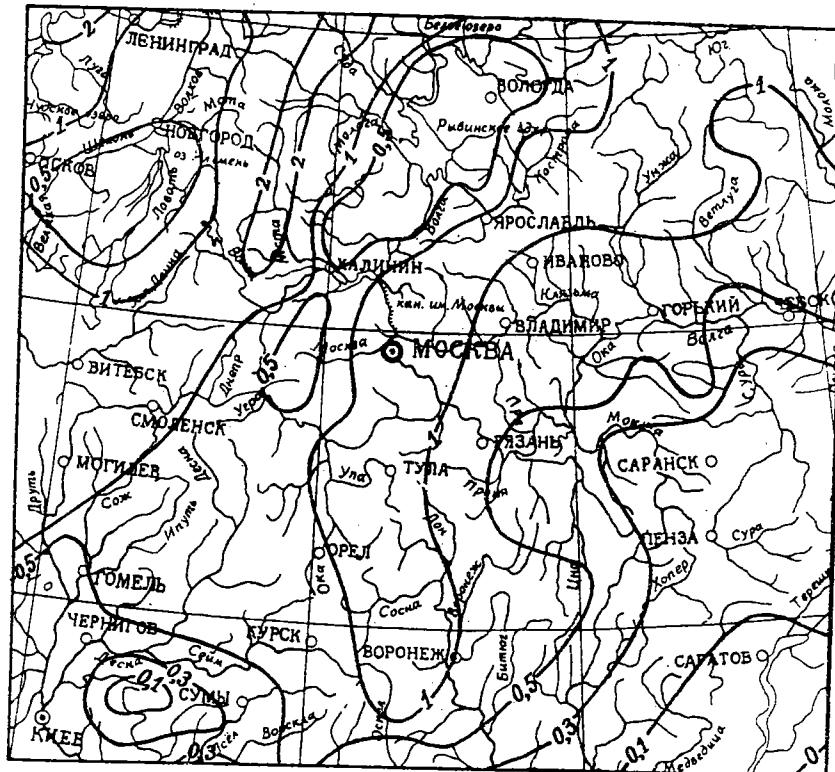
$$Q_{80\%}^{30-\text{дн}} = 0,001 \alpha (F + f_0)^n,$$

параметры которой находятся по табл.8.

3. Минимальные 30-дневные расходы других обеспеченностей определяются как

$$Q_p = \lambda_p Q_{80\%},$$

λ_p – из табл. 10.



Масштаб 1 : 10 000 000

Рис.7. Минимальный 30-суточный летне-осенний сток рек вероятностью превышения 80% (/2/, прил. 1, лист 18)

Таблица 8
Значения параметров α , n , f_0 (1/2, прил.2, табл.17)

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

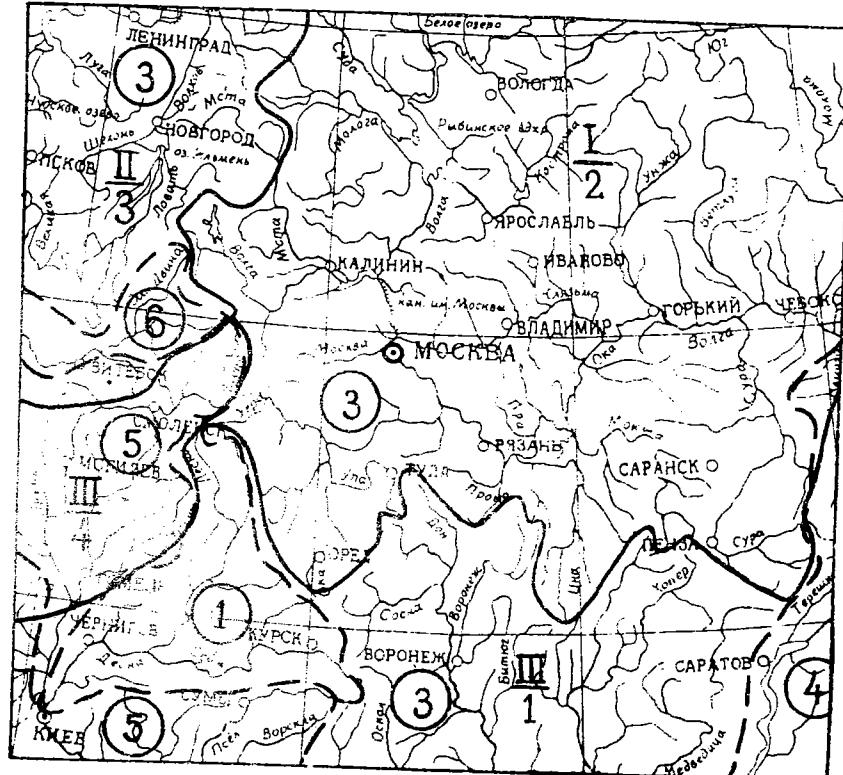
4. Определить минимальные среднесуточные расходы 80%-ной обеспеченности как

$$Q_{\text{сут}} = K Q_{30-\text{дн}}^{80\%},$$

где K берется из табл.9 и рис.8.

5. Определить минимальные среднесуточные расходы других обеспеченностей аналогично определению 30-дневных расходов (по коэффициентам λ_p из табл.10).

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



Масштаб 1 : 10 000 000

— II — 1
— III — 3 — 2

Рис.8. Районирование переходных коэффициентов λ_p для определения минимальных расходов различной вероятности превышения и коэффициентов K для определения среднего суточного расхода воды: 1 — районы λ_p ; 2 — районы K

Таблица 9

Коэффициент K для определения
минимальных среднесуточных расходов (/2/, табл. 33)

Номера районов по рис. 8	Зимний период	Летне-осенний период
I(I)	0,90	0,90
II(2)	0,84	0,85
III(3)	0,74	0,80
IV(4)	0,64	0,74

Таблица 10

Переходные коэффициенты λ_p для определения
минимальных 30-дневных расходов воды
различной вероятности превышения (/2/, табл. 32)

Район по рис. 8	Вероятность превышения, %				
	75	80	90	95	97
1	1,15	1	0,95	0,87	0,83
2	1,05	1	0,87	0,80	0,75
3	1,06	1	0,86	0,78	0,70
4	1,06	1	0,83	0,71	0,62
5	1,09	1	0,80	0,63	0,54

Тема IV

МАКСИМАЛЬНЫЙ СТОК

Задание 15

Расчет максимальных расходов воды весеннего половодья
при наличии материалов наблюдений

Требуется:

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

32

Дано:

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

Порядок выполнения

1. Вычислить параметры и квантили кривой обеспеченности аналогично выполнению п. 1-3 задания 1.

2. Ориентировочно оценить среднеквадратическую ошибку квантилей, пользуясь номограммой С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля (рис. 9) и формулой:

$$\varepsilon_{K_p} = \frac{E_p}{\sqrt{n}} \cdot 100\%.$$

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

Указание. Критерием достаточности является соотношение $\varepsilon_{K_p} \leq 20\%$.

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

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

$$\Delta Q_p = \alpha \frac{E_p}{\sqrt{n}} Q_p.$$

E_p следует определить по табл. II; α – коэффициент, характеризующий гидрологическую изученность рек: для гидрологически изученных районов $\alpha = 1$, для слабоизученных $\alpha = 1,5$.

Указание. Значение гарантийной поправки не должно превышать 20% величины $Q_{0,01\%}$.

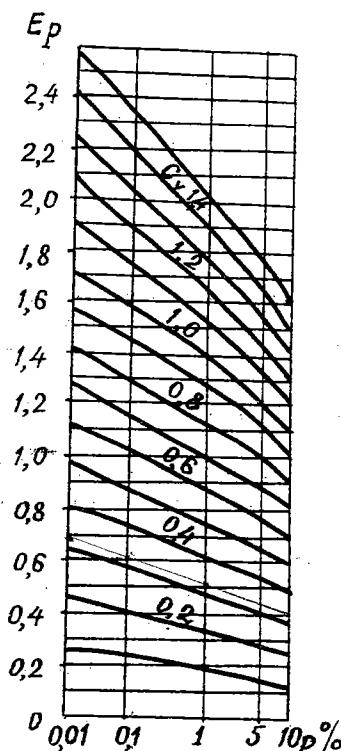


Рис. 9. Номограмма для определения величины E_p

Таблица 11

Значения $E_{0,01\%}$ для трехпараметрического гамма-распределения
(/1/, прил. 5)

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

Задание 16

Расчет максимальных расходов воды весеннего половодья при отсутствии материалов наблюдений

Требуется:

определить максимальные расходы обеспеченности 1 и 5%

Дано:

гидрографические и физико-географические характеристики рассматриваемого бассейна (площадь водосбора, длина и уклон реки, заболоченность, залесенность, озерность, распаханность, тип почв, гидро-геологические условия);

аналогичные сведения по ряду соседних бассейнов, имеющих длительные периоды гидрометрических наблюдений.

Порядок выполнения

Расчет выполняется по формуле

$$Q_p = \frac{K_o h_p F}{(F + F_1)} \mu \delta \delta_{1,2},$$

на основе применения метода аналогии путем подбора водосбора-аналога с наличием данных наблюдений по стоку. Предметом аналогии являются

ется наиболее изменчивый в зависимости от физико-географических условий параметр K_o , характеризующий дружность весеннего половодья.

1. Подобрать несколько рек-аналогов, ориентируясь на географическую близость расположения водосборов и однородность условий формирования стока (тип почв, гидро-геологические условия, степень озерности, залесенности, заболоченности).

Площади водосбора не должны отличаться более чем в 10 раз, необходимо также убедиться в сходстве морфометрических показателей бассейнов

$$\frac{L}{F^{0,56}} \approx \frac{L_a}{F_a^{0,56}}, \quad I \sqrt{F} \approx I_a \sqrt{F_a},$$

где L, L_a — длина исследуемой реки и реки-аналога, I, I_a — уклон исследуемой реки и реки-аналога.

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

3. Обратным пересчетом определить параметр K_o по рекам-аналогам

$$K_o^{(a)} = \frac{Q_{1\%}^{(a)} (F^{(a)} + F_1)^{n_1}}{h_{1\%}^{(a)} F^{(a)} \delta^{(a)} \delta_1^{(a)} \delta_2^{(a)}}.$$

Для определения $K_o^{(a)}$ указанным способом необходимо:

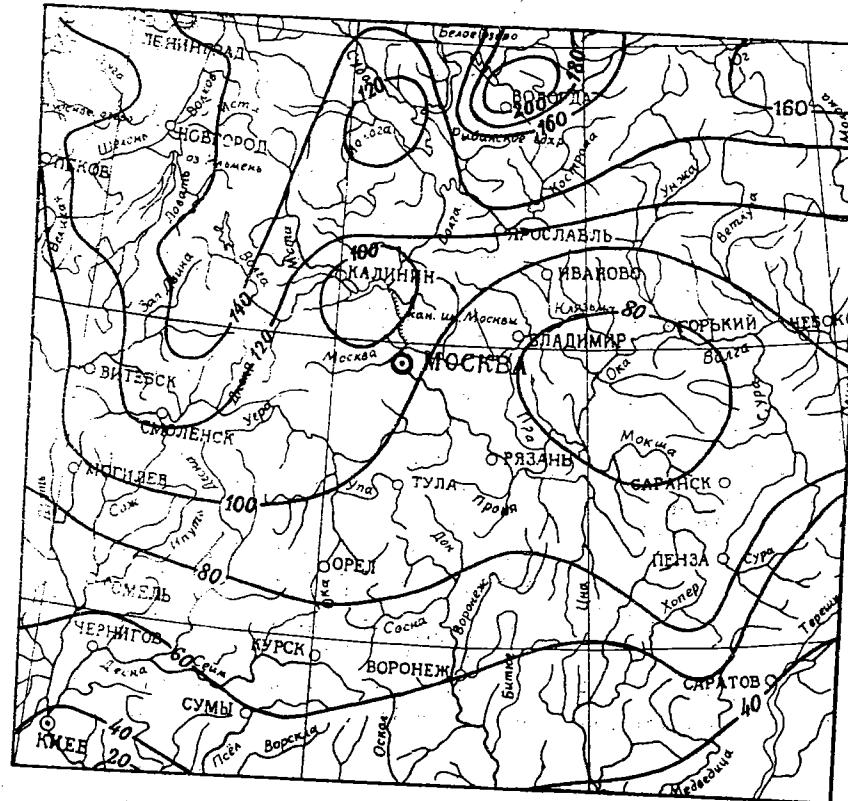
а) определить параметры F_1 и n_1 (табл. 12, см. рис. 3);

Таблица 12

Параметры n_1 и F_1 для равнинных рек (/1/, прил. 8)

Природная зона	n_1	F_1
Зона тундры и лесная зона (ETC, Западная и Восточная Сибирь)	0,17	1
Лесостепная зона (ETC и Западная Сибирь)	0,25	2
Степная зона, зона засушливых степей и полупустынь (ETC, Западная Сибирь, Западный и Центральный Казахстан)	0,35	10

б) определить средний многолетний слой стока весеннего половодья по карте ГГИ (рис. 10) h_o , для рек степной зоны ввести поправку на площадь водосбора (табл. 13), при наличии проточных озер на водосборе ввести поправочный коэффициент по табл. 14,



Масштаб 1 : 10 000 000

Рис. 10. Среднемноголетний слой стока половодья (1/2), прил. I, лист 6

Таблица 13

Поправочные коэффициенты к значениям среднего многолетнего слоя весеннего стока h_o для степной зоны СССР (/1/, прил.9)

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

Таблица 14

Значения коэффициентов снижения слоя стока весеннего половодья
проточными озерами δ (/1/, прил. 10)

F_{O_3} , %	δ
от 0 до 2,8	0,9-0,8
от 2,9 до 6,4	0,8-0,6
более 6,4	0,6

в) определит

слоя стока весеннего половодья по карте (рис. 11).

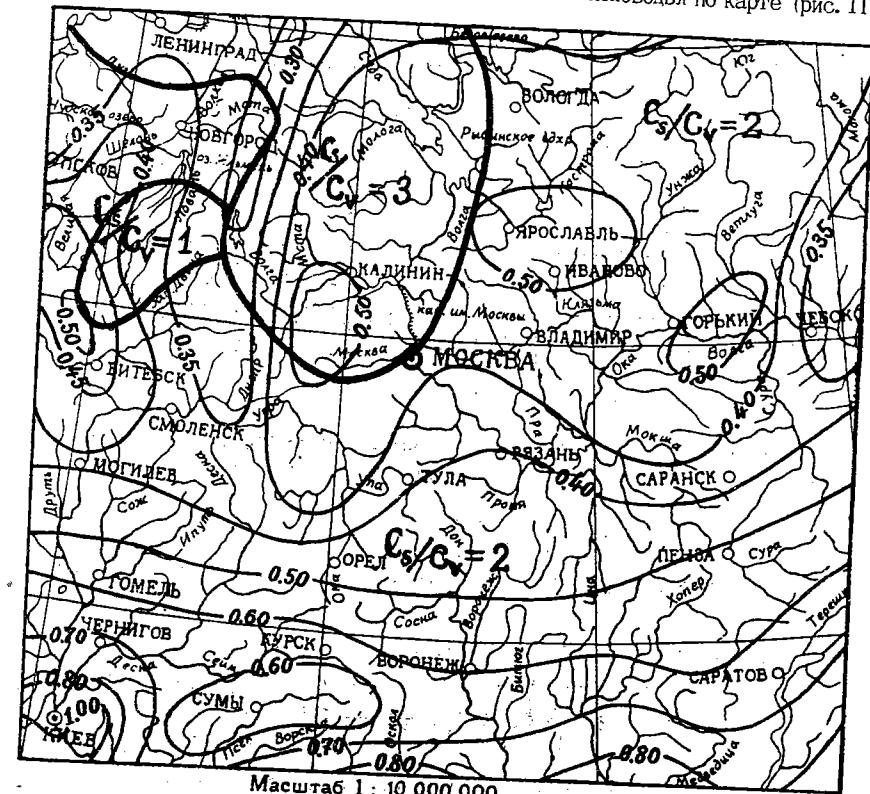


Рис. 11. Коеффициент вариации слоя стока половодья и соотношение $\frac{C_s}{C_v}$ ($/2/$, прил. 1, листы 8, 9)

- г) расчетное значение C_s/C_v определяется по карте рис. 11,
 д) по параметрам h_o , C_{vh} и C_s/C_v определить $h^{1\%}$,
 е) рассчитать коэффициент снижения максимального стока рек, зарегулированных проточными озерами, по формуле

$$\delta = \frac{1}{1 + Cf_{oz}},$$

$f'_{oz}/\%$ средневзвешенная озерность, определяемая по формуле
 $f'_{oz} = \sum (100 S_i f_i / F^2),$

где F — площадь водосбора в расчетном створе реки, км²; S_i — площадь зеркала озера, км²; f_i — площадь водосбора озера, км². При отсутствии сведений о площади водосборов озер f_i средневзвешенную озерность допускается определять по формуле

$$f'_{oz} = (f_{oz} \cdot 2)/2,8,$$

где f_{oz} — относительная озерность, $f_{oz} = \frac{1}{F} \sum 100 S_i$, %.

Параметр C определяется по табл. 15;

Таблица 15

Значения коэффициента C в формуле $\delta = \frac{1}{1 + Cf_{oz}}$ (11, прил. 12)

h_o , мм	100 и более	99—50	49—20	менее 20
C	0,2	0,2—0,3	0,3—0,4	0,4

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

$$\delta_1 = \frac{\alpha_1}{(f_l + 1)^{\eta_2}},$$

где η_2 и α_1 определяются по табл. 16, f_l — заросшость водосбора, %;

з) коэффициент δ_2 , учитывающий снижение максимального расхода воды заболоченных бассейнов, определяется по формуле

$$\delta_2 = 1 - \beta \lg (0,1 f_g + 1),$$

где β определяется по табл. 17, f_g — заболоченность, %.

Таблица 16
Значения параметров α_1 и η_2 в формуле $\delta_1 = \alpha_1 / (f_l + 1)^{\eta_2}$ (11, прил. 13)

Природная зона	Расположение леса на водосборе	Параметр α_1 при F_l , %			η_2
		3—9	10—19	20—30	
Лесная	A	1,0	1,0	1,0	0,22
	B	0,85	0,80	0,75	
	C	1,20	1,25	1,30	
Лесостепная	A, C	1	1	1	0,16
	B	1,25	1,30	1,40	

Примечание. Расположение леса на водосборе в табл. 16 принимается условно: A — равномерное, B — в верхней части водосбора, C — в нижней и приуроченной части водосбора.

Таблица 17

Значения коэффициента β для различных типов болот в формуле $\delta_2 = 1 - \beta \lg (0,1 f_g + 1)$

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

Примечание: При заболоченности менее 3% или при относительной озерности более 20% коэффициент δ_2 принимается равным 1.

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

5. Вычислить по расчетной формуле максимальные расходы весеннего половодья 1% и 5%-ной обеспеченности, используя параметр K_o , полученный в п.4; коэффициент M определить по табл. 18.

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

Таблица 18

Значения коэффициента M , учитывающего неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды (1/, прил. 7)

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

Задание 17

Расчет максимальных расходов дождевых паводков при наличии материалов наблюдений

Требуется:

определить максимальный расход обеспеченностью 1,5 и 10%.

Дано:

таблицы "Ежедневные расходы воды" за период наблюдений.

Порядок выполнения

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

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

3. Определить достаточность имеющегося ряда наблюдений аналогично п.3 задания 15.

Задание 18

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

Требуется:

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

Дано: см. задание 16.

Порядок выполнения

Расчетная формула: $Q_p = Q_{200} \left(\frac{200}{F} \right)^{\Pi_3} \lambda_p \delta \delta_2 F$.

1. Определить Q_{200} , Π_3 и λ_p с помощью рис. 12, 13, 14 и табл. 19.

Таблица 19

Переходные коэффициенты λ_p от максимальных расходов воды обеспеченностью $P=1\%$ к другим вероятностям превышения (1/, прил.20)

Номер района	Площадь водосбора, km^2	Вероятность превышения $P, \%$		
		1	5	10
1	0	1,0	0,64	0,54
2	0,1	1,0	0,67	0,55
3	0	1,0	0,80	0,69
4	100	1,0	0,70	0,60
5	0	1,0	0,62	0,46
6	0	1,0	0,42	0,30
11	100	1,0	0,55	0,40

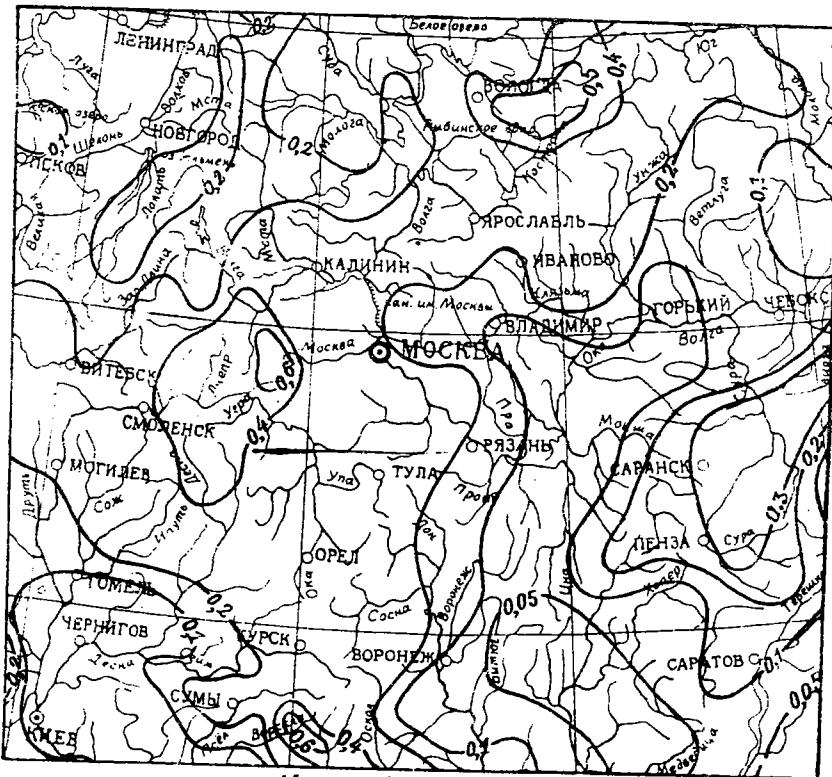


Рис. 12. Параметр Q_{200} вероятностью превышения 10^{-2} (1/2, прил. 1, лист 12)

2. Принять δ и δ_2 по п.3 задания 16.
3. Вычислить Q_p по расчетной формуле.
4. Сравнить значения Q_p с величинами, полученными в задании 17.
5. Подобрать реку-аналог, руководствуясь рекомендациями п.1 задания 16.

42

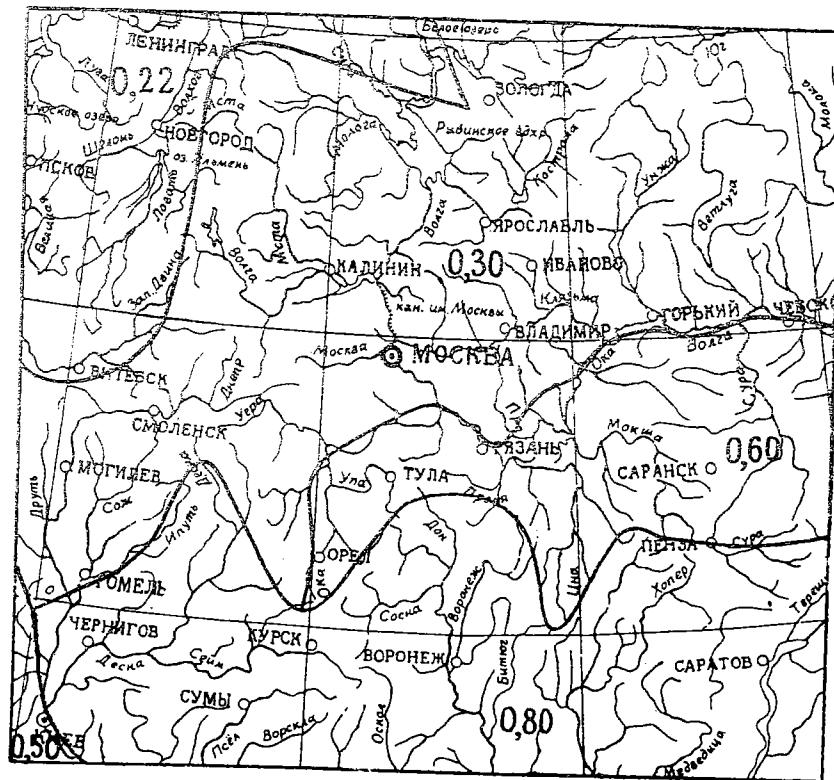


Рис. 13. Схема районов значений показателя степени редукции максимального модуля дождевого стока, (1/1, прил. 16)

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

6. Произвести расчет по формуле

$$Q_p = Q_{P,A} \left(\frac{F_A}{F} \right)^{\eta_3} \frac{\delta \delta_2}{\delta_A \delta_{2,A}} F.$$

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

43

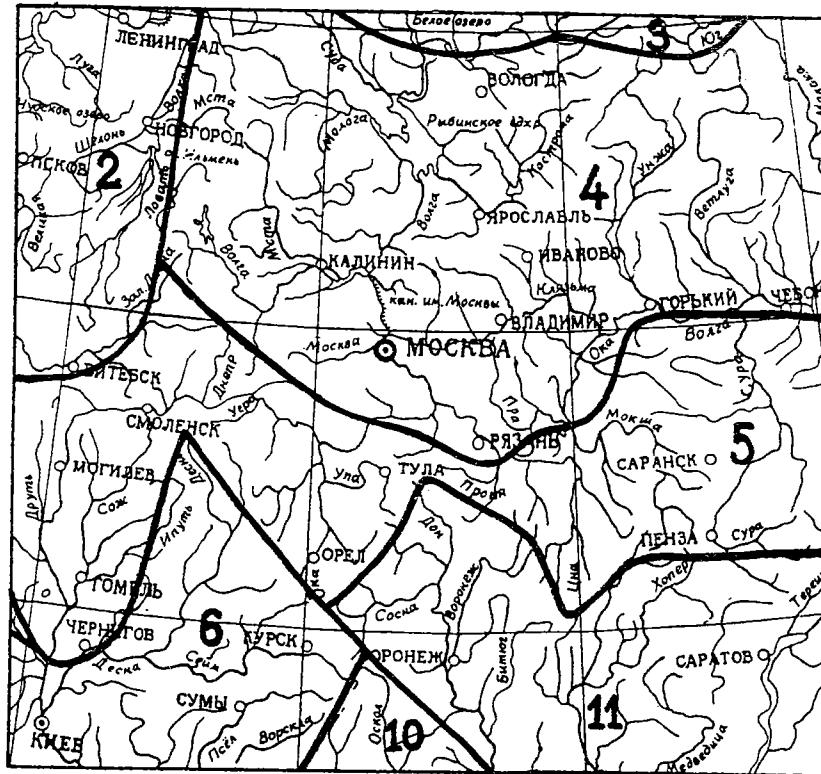


Рис. 14. Схема районов параметров λ_p и λ'_p (1/, прил.19)

Задание 19

Расчет максимальных расходов воды
по формуле предельной интенсивности стока

Требуется:

определить максимальные расходы обеспеченностью 1 и 5%.

Дано:

гидрографические характеристики малого водотока: площадь F , км 2 ; длина L , км; уклон $i\%$; заболоченность f_8 , %; лесистость f_l , %; озерность f_{oz} , %; характеристика почво-грунтов; характеристика русла и поверхности склонов; густота гидрографической сети бассейна ρ , км/км 2 .

44

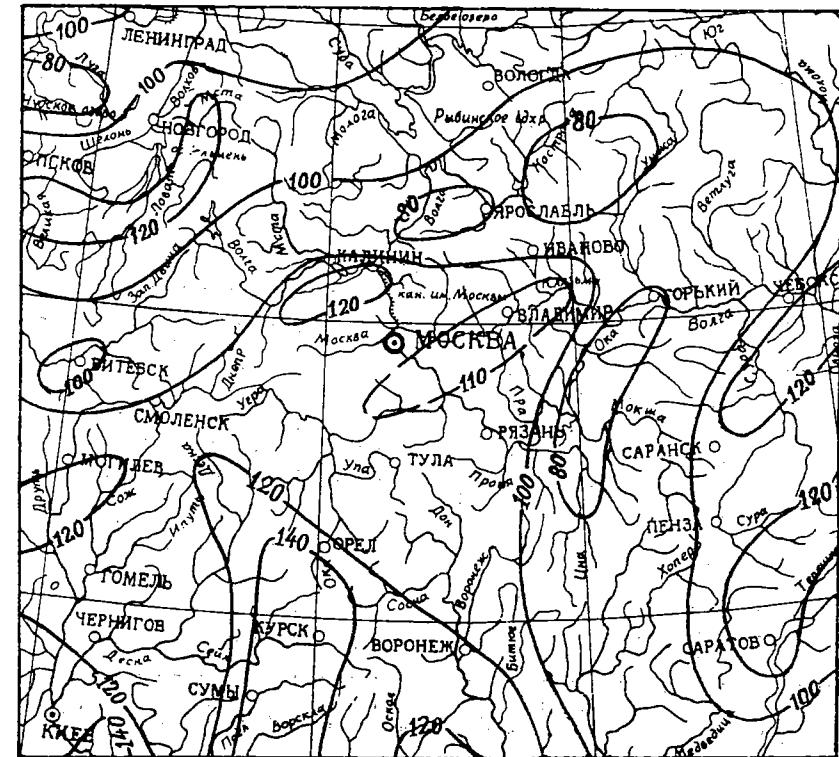
Порядок выполнения

Формула предельной интенсивности имеет вид:

$$Q_p = q'_{1\%} \varphi H_{1\%} \delta \lambda_p F,$$

где $q'_{1\%}$ — максимальный модуль стока обеспеченностью 1%, выраженный в долях от произведения $\varphi H_{1\%}$ при $\delta = 1$; δ имеет тот же смысл, что и ранее, в заданиях 16 и 18.

1. Определить суточный слой осадков 1%-ной обеспеченности по рис. 15.



Масштаб 1 : 10 000 000
Рис. 15. Суточный слой осадков вероятностью превышения 1% за теплый период (2/, прил.1, лист 15)

2. Определить сборный коэффициент стока φ по формуле:

$$\varphi = C_2 \frac{\varphi_o}{(F+1)^{n_6}} \left(\frac{i_B}{50} \right)^{n_5},$$

где эмпирический коэффициент C_2 принимается равным 1,2 для лесной и тундровой зон, а для остальных зон – 1,3; φ_o – сборный коэффициент стока для водосбора с площадью $F = 10 \text{ км}^2$ и средним уклоном водосбора $i_B = 50\%$ принимается по табл. 20; параметр n_5 определяется также по табл. 20; показатель степени редукции n_6 принимается равным 0,07 для лесной зоны и 0,11 – для остальных природных зон.

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

Таблица 20

Значения параметров φ_o и n_5 (/1/, прил. 24)

Природная зона	Тип почв	Механический состав почв					
		А		Б		В	
		φ_o	n_5	φ_o	n_5	φ_o	n_5
Лесная	Глеево-подзолистые	0,42	0,5	0,28	0,65	0,23	0,8
	Подзолистые, серые лесные	0,56	0,5	0,38	0,65	0,30	0,8
Лесостепная	Подзолистые, серые лесные, черноземы мощные	0,66	0,6	0,54	0,7	0,27	0,9
	Черноземы выщелоченные, темно-каштановые	0,59	0,7	0,22	0,85	0,14	1,0
Степная и засушливая степь	Черноземы выщелоченные	0,18	0,8	0,10	0,9	0,05	1,0
	Каштановые сероземы карбонатные	0,29	0,9	0,14	0,9	0,12	1,0

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

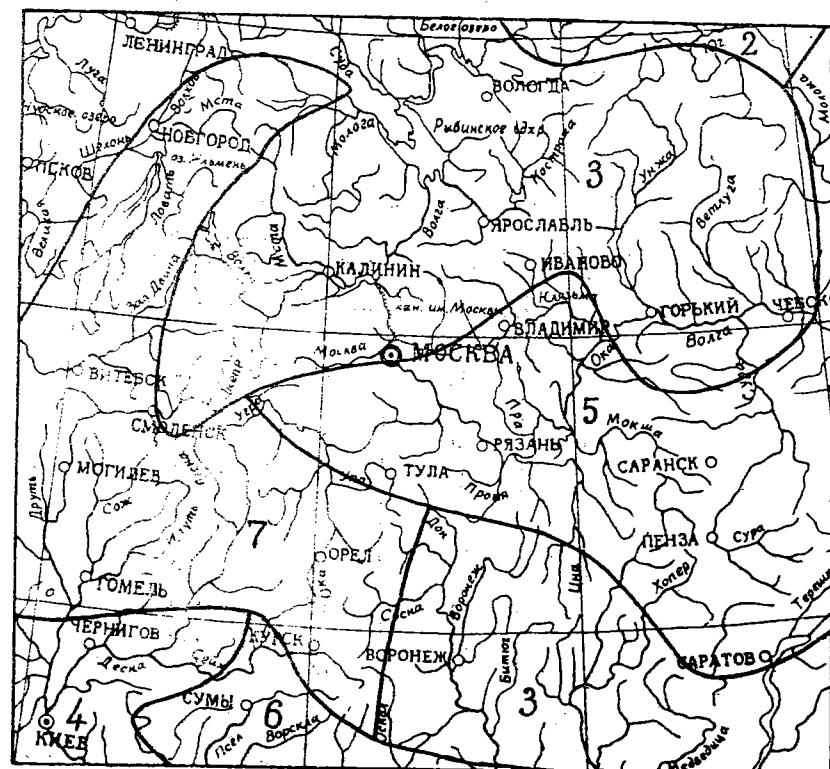
4. Определить продолжительность склонового дебегания $T_{ск}$. Для этого необходимо:

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

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

где l – средняя длина безрусловых склонов водосбора, $l = 1/1,8 \rho$, $n_{ск}$ – коэффициент, характеризующий шероховатость склонов водосбора, определяется по табл. 21;

б) по карте рис. 16 определить номер района типовых кривых редукции осадков;



Масштаб 1 : 10 000 000

Рис. 16. Схема районов типовых кривых редукции осадков (/1/, прил. 22)

в) по табл.22 определить T_{ck} в зависимости от Φ_{ck} и номера района.

Таблица 21

Значение коэффициента Π_{ck} , характеризующего шероховатость склонов (/1/, прил.26)

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

Таблица 22

Значения T_{ck} , мин (/1/, прил.25)

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

При отсутствии данных о характере поверхности склонов можно в первом приближении принять следующие величины склонового дебетования, мин:

зоны:

тундровая и лесная

при заболоченности	< 20% - 60, 20-40% - 100, > 40% - 150,
лесостепная	-60,
степная	-30,
полупустынная	-10.

5. Определить гидроморфометрическую характеристику русла Φ_p

$$\Phi_p = \frac{1000 L}{m_p i_p^{1/3} F^{1/4} (\varphi H_{1\%})^{1/4}},$$

где m_p – гидравлический параметр русла, определяется по табл. 23.

Таблица 23

Значения параметра русловой шероховатости m_p , м/мин (/1/, прил.18)

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

6. Определить $q'_{1\%}$ по табл.24 в зависимости от номера района типовой кривой редукции осадков, Φ_p и T_{ck}

7. Вычислить коэффициент δ аналогично заданию 16.

8. Вычислить максимальный расход воды 1%-ной обеспеченности

$$Q_{1\%} = q'_{1\%} \varphi H_{1\%} \delta F.$$

9. Вычислить максимальный расход воды 5%-ной обеспеченности

$$Q_{5\%} = Q_{1\%} \lambda_{5\%}, \quad \lambda_{5\%} \text{ определить по табл. 18.}$$

Таблица 24

Максимальный модуль дождевого стока
в долях от произведения φH_{1q} (/1/, прил.21)

Для типа кривых редукции осадков 3

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

Продолжение табл. 24

Для типа кривых редукции осадков 5

Φ_p	Продолжительность склонового добегания $T_{ск}$, мин					
	10	30	60	100	150	200
0	0,52	0,27	0,17	0,11	0,082	0,066
1	0,47	0,26	0,16	0,11	0,080	0,065
5	0,37	0,22	0,14	0,10	0,075	0,060
10	0,28	0,18	0,13	0,090	0,070	0,055
20	0,16	0,13	0,96	0,074	0,060	0,050
30	0,11	0,094	0,077	0,060	0,050	0,042
40	0,084	0,073	0,062	0,051	0,045	0,037
50	0,066	0,059	0,052	0,045	0,038	0,032
60	0,054	0,049	0,044	0,039	0,034	0,029
70	0,045	0,042	0,038	0,035	0,030	0,027
80	0,038	0,037	0,033	0,031	0,028	0,025
90	0,034	0,032	0,030	0,028	0,025	0,023
100	0,030	0,029	0,027	0,025	0,023	0,021
150	0,019	0,018	0,017	0,017	0,016	0,015
200	0,013	0,013	0,013	0,013	0,012	0,011
250	0,010	0,010	0,010	0,010	0,0096	0,0091
300	0,0084	0,0083	0,0083	0,0082	0,0080	0,0077

Окончание табл. 24

Для типа кривых редукции осадков 7

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

Задание 20

Построение расчетного гидрографа
по моделям наблюдавшихся весенних половодий

Требуется:

построить гидрограф половодья обеспеченностью 50%.

Дано:

таблицы ежедневных расходов воды по всем годам наблюдений.

52

Порядок выполнения

1. Определить объем и слой половодья за каждый год по таблицам ежедневных расходов воды.

2. Построить эмпирическую кривую обеспеченности $P_n(h)$, провести сглаженную эмпирическую кривую обеспеченности.

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

а) коэффициент полноты формы гидрографа γ' :

$$\gamma' = \frac{\bar{Q}_{\max}}{Q} = \frac{\bar{q}_{\max} T}{0,0116 h},$$

где \bar{Q}_{\max} — среднесуточный максимальный расход; \bar{q}_{\max} — среднесуточный максимальный модуль стока, m^3/c ; T — продолжительность половодья, сут;

б) коэффициент формы гидрографа λ^* :

$$\lambda^* = \frac{\bar{q}_{\max} t_p}{0,0116 h} = \gamma' \frac{t_p}{T},$$

где t_p — продолжительность подъема половодья, сут;

в) коэффициент несимметричности гидрографа K_s :

$$K_s = \frac{h_p}{h} = \frac{W_p}{W};$$

г) коэффициент дружности K_d :

$$K_d = \bar{q}_{\max}/h.$$

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

$$K_\tau = Q_{\max}/\bar{Q}_{\max}.$$

Сравнить K_τ в различные годы, вычислить среднее значение.

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

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

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

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

Указание. Считать неблагоприятной такую форму гидрографа, при которой наблюдается наибольшая концентрация объема вблизи максимальной ординаты гидрографа. Для обоснования выбранной модели проанализировать соотношение коэффициентов γ^* , λ^* , K_s , K_d по каждому половодью и сравнить эти коэффициенты за разные годы.

6. Вычислить среднесуточный максимальный расход заданной обеспеченности

$$\bar{Q}_p = K_T Q_p,$$

где K_T берется из п.4.

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

$$K_Q = \frac{\bar{Q}_p}{\bar{Q}_{\text{модели}}}, \quad K_t = \frac{K_{\text{д.модели}}}{K_{\text{д.расч}}} = \frac{T_{\text{расч}}}{T_{\text{модели}}},$$

где $K_{\text{д.расч}} = \bar{Q}_p/h_p$. причем h_p определяется по кривой из п.2.

8. Пересчитать координаты гидрографа модели в координаты расчетного гидрографа:

$$Q_i = Q_{i \text{ модели}} K_Q, \quad t_i = t_{i \text{ модели}} K_t,$$

число i -ых точек должно быть не менее семи-девяти даже при простой форме гидрографа.

Задание 21

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

Требуется:

построить гидрограф половодья 5%-ной обеспеченности.

Дано:

результаты расчетов, выполненных в задании 16 и 20 (максимальный мгновенный расход $Q_{5\%}$ и слой стока половодья $h_{5\%}$);

данные по коэффициентам несимметричности гидрографа K_s для рек района по результатам расчетов, выполненных в задании 20.

Таблица 25

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

Порядок выполнения

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

2. По функции $K_S = f(\lambda^*)$ определить коэффициент формы половодья λ^* (табл.25).

3. Вычислить максимальный среднесуточный расход заданной обеспеченности $\bar{Q}_P = K_T Q_P$, определив K_T по табл.26, в зависимости от природной зоны и площади водосбора. Вычислить среднесуточный максимальный модуль стока заданной обеспеченности \bar{q}_P , м³/с.

Таблица 26

Величины переходных коэффициентов K_T
от расчетных мгновенных максимальных расходов Q_P
к среднесуточным расходам (/1/, прил. 30)

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

4. Вычислить условную продолжительность подъема половодья t_n , сут

$$t_n = \frac{0,0116 \lambda^* h_p}{\bar{q}_P}$$

5. Выписать относительные координаты гидрографа в зависимости от величины λ^* из табл. 25.

6. Определить абсолютные значения ординат расчетного гидрографа, как $Q_i = y_i \bar{Q}_{max}$ и соответствующие им абсциссы $T_i = x_i t_n$, сут.

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

Задание 2.2

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

Требуется:

построить гидрограф паводка 5%-й обеспеченности.

Дано:

максимальный мгновенный расход $Q_{5\%}$ по заданию 18, слой дождевого стока обеспеченностью $P = 5\%$,
коэффициент K_S по рекам-аналогам.

Порядок выполнения

1. Определить K_S по реке-аналогу и λ^* по функции $K_S = f(\lambda^*)$ (см. табл.25).

Примечание. В первом приближении можно принять

$$K_S = 0,30.$$

2. Вычислить среднесуточный максимальный расход $\bar{Q}_P = K_T Q_P$ и соответствующий ему модуль стока \bar{q}_P . Коэффициент K_T взять по табл.26.

3. Вычислить условную продолжительность подъема t_n , сут

$$t_n = \frac{0,0116 \lambda^* h_p}{\bar{q}_P}$$

при продолжительности подъема менее суток, $t_n < 1$ сут, следует вычислять по формуле

$$t_n = \frac{0,28 \lambda^* h_p}{\bar{q}_P}$$

где \bar{q}_P — мгновенный максимум.

4. По λ^* и данным табл.15 определить относительные ординаты гидрографа x и y ; перемножив x и y на t_n и Q_n , построить гидрограф паводка.

Указание. При отсутствии материалов наблюдений слой дождевого стока h_p определяется по рис.17 и табл.27.

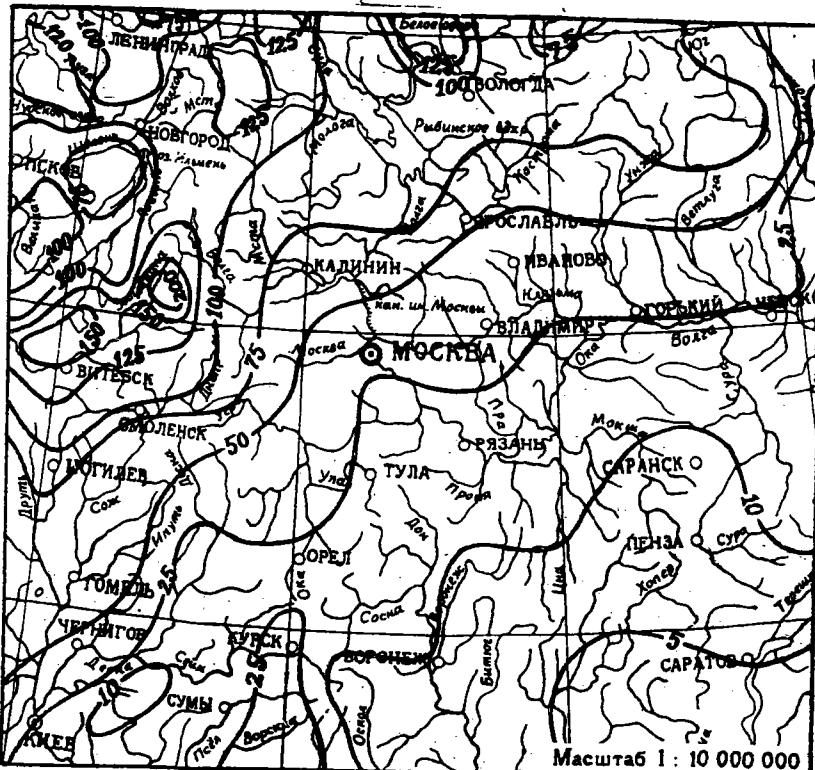


Рис.17. Слой дождевого стока вероятностью превышения 1% (/2/, прил.1, лист 16)

Таблица 27
Переходные коэффициенты λ'_r от слоев стока ежегодной вероятности превышения $P = 1\%$ к слоям стока другой обеспеченности (/1/, прил. 29)

Номер района по рис. 14	Площадь водосбора F , км ²	Вероятности превышения		
		1	5	10
1, 2, 4, 5	> 0	1,0	0,68	0,52
3	> 0	1,0	0,63	0,47
6	> 100	1,0	0,56	0,40
	$> 0,1$	1,0	0,56	0,28
7	> 0	1,0	0,50	0,35
11	> 100	1,0	0,55	0,40
	$F = 0,1$	1,0	0,44	0,27

Тема У

УЧЕТ И ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА ПОД ВЛИЯНИЕМ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Вводное замечание. Объекты исследования указываются преподавателем индивидуально по каждому заданию.

Задание 23

Установление времени начала нарушения естественного стока

Требуется:

определить год начала влияния хозяйственной деятельности на речной сток;

оценить статистическую значимость выявленной неоднородности ряда наблюдений.

Дано:

общая характеристика водосбора и хозяйственных мероприятий, проводящихся в русловой сети и на водосборе, время активизации хозяйственной деятельности;

материалы наблюдений за годовым Y и весенным стоком воды $Y_{вес}$ и атмосферными осадками P (годовые $P_{год}$, за период весеннего половодья $P_{вес}$), максимальными снегозапасами S .

Порядок выполнения

1. Вычислить ординаты интегральных кривых ежегодных значений стока (годового, сезонного) — Y_t , осадков (или суммы $P_{вес} + S_t$) — P_t

$$\delta Y_{t,m} = \sum_{t=1}^m Y_t, \quad \delta P_{t,m} = \sum_{t=1}^m P_t,$$

где $t = 1, 2, \dots, m, \dots, n$.

2. Построить график связи $\delta Y_{t,m} = f(\delta P_{t,m})$ пометив каждую точку соответствующим календарным годом. Определить начало нарушения естественного режима по точке перелома в ходе кривой связи.

3. Вычислить коэффициенты индикации

$$\alpha'_t = \frac{P_t}{Y_t}, \quad \alpha''_t = \frac{P_{вес,t} + S_t}{Y_{вес,t}}$$

и построить их хронологические графики за период наблюдений.

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

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

6. Установить год начала нарушения естественного стока методом двойной интегральной кривой (см. вл. 1,2; вместо осадков используются сток реки-аналога).

7. Сравнить результаты ил. 2, 4, 6.

8. Оценить статистическую значимость выявленной неоднородности имеющегося ряда наблюдений с помощью критерия Смирнова - Колмогорова. Вычислить статистику

$$\lambda^* = \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \max \left| P_{n_1}(y) - P_{n_2}(y) \right|,$$

где n_1 — число лет условно-естественного и n_2 — нарушенного периодов, $P_{n_1}(y)$ и $P_{n_2}(y)$ — эмпирические кривые обеспеченности стока за эти периоды.

Установить вероятность превышения полученной меры расхождения между эмпирическими кривыми обеспеченности за естественный и нарушенный периоды в случае справедливости гипотезы однородности:

$$P_{n_1}(y) = P_{n_2}(y) = P(y),$$

Таблица 28

Значения функции $P(\lambda)^*$

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

* Янко Я. Математико-статистические таблицы. М.: Госстатиздат, 1961. Табл. 39.

9. Оценить однородность рядов за естественный и нарушенный периоды с помощью критериев Фишера (F^*) и Стьюдента (t^*) при уровне значимости $\alpha = 5\%$.

Для этого вычислить дисперсии ряда отдельно за период естественного стока и за период нарушенного стока

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

обозначив большую из них S_1^2 , а меньшую — S_2^2 , вычислить статистику

$$F^* = \frac{S_1^2}{S_2^2}.$$

По табл. 29 определить квантиль распределения F_{V_1, V_2} , где V_1 и V_2 — число степеней свободы, $V_1 = n_1 - 1$, $V_2 = n_2 - 1$.

Гипотеза однородности выборочных дисперсий отвергается, если $F^* > F_{V_1, V_2}$. В противном случае ($F^* \leq F_{V_1, V_2}$) считается, что данные наблюдений не противоречат гипотезе об однородности дисперсий.

Таблица 29

Значения функции $F\left(\frac{\alpha}{2}, V_1, V_2\right)$ при $\alpha = 5\%*$

V_1	5	10	15	20	30	40	60
V_2							
5	7,15	6,62	6,43	6,33	6,23	6,18	6,12
10	4,24	3,72	3,52	3,42	3,31	3,26	3,20
15	3,58	3,06	2,86	2,76	2,64	2,59	2,52
20	3,29	2,77	2,57	2,46	2,35	2,29	2,22
30	3,03	2,51	2,31	2,20	2,07	2,01	1,94
40	2,90	2,39	2,18	2,07	1,94	1,88	1,80
60	2,79	2,27	2,06	1,94	1,82	1,74	1,67

* Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. М.: Мир, 1980. Табл. Ж.

Если гипотеза однородности дисперсий не отвергается критерием Фишера, то следует проверить однородность выборочных средних, вычислив статистику t^* .

$$t^* = \frac{\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2}{\tilde{S} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}},$$

где

$$\tilde{S} = \frac{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

и число степеней свободы t — распределения Стьюдента $V = n_1 + n_2 - 2$.

По табл.30 определить t_V ($\alpha = 5\%$).

Гипотеза однородности выборочных средних отвергается, если $t^* > t_V$, в противном случае считается, что данные наблюдений не противоречат этой гипотезе.

З а м е ч а н и е . В практике гидрологических расчетов могут применяться и другие уровни значимости – от 1 до 20%.

Таблица 30
Значения функции t_V при $\alpha = 5\%*$

V	10	12	15	20	25	30	40	60	120
t	2,23	2,18	2,13	2,09	2,06	2,04	2,02	2,00	1,98

* Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. М.: Мир, 1980. Табл. Е.

Задание 24

Оценка изменений стока под влиянием хозяйственной деятельности

Требуется:

восстановить естественный сток за период с нарушенным режимом, оценить изменения стока.

Дано:

см. задание 23.

Порядок выполнения

1. Подобрать реку-аналог (можно воспользоваться результатами исследований по выполнению п.5 задания 23), учитывая следующие условия:

а) наличие совместных наблюдений за стоком за многолетний период с существенно различным уровнем хозяйственного освоения, рассматриваемого водосбора;

б) географическая близость расположения водосборов и сходство физико-географических условий формирования стока;

в) сток рек-аналогов должен быть естественным за весь период наблюдений.

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

У к а з а н и е . В случае низких коэффициентов корреляции ($R \leq 0,8$) следует попытаться построить уравнение множественной регрессии $Q = f(Q_{a_1}, Q_{a_2}, \dots, Q_{a_m})$ при сводном коэффициенте корреляции $R \geq 0,8$ и при выполнении требований: $R/\sigma_R \geq 2$, $\sigma_f/\sigma_{Q_a} \geq 2$ где σ_R – ошибка оценки коэффициента корреляции, σ_f – коэффициенты регрессии, σ_{Q_a} – ошибки коэффициентов регрессии.

3. По уравнению регрессии восстановить сток за период с нарушенным режимом Q восст.

4. Оценить влияние комплекса факторов хозяйственной деятельности на сток

$$\Delta Q_{\text{хоз}} = Q_{\text{вост}} - Q_h,$$

где Q_h – наблюденный сток за период сравнения.

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

$$\sigma_{\Delta Q_{\text{хоз}}} = \sqrt{\frac{\sigma_{Q_{\text{вост}}}^2 + \sigma_{Q_h}^2}{n}},$$

где $\sigma_{Q_{\text{вост}}}$ – средняя квадратическая погрешность восстановления стока (ошибка уравнения регрессии), σ_{Q_h} – средняя квадратическая ошибка определения (измерения) наблюденного расхода, в первом приближении может быть оценена по табл. 31.

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

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

Таблица 31

Средняя погрешность наблюденных значений расходов воды, %*

Методы и условия измерения и подсчета стока	Период осреднения стока		
	декада	месяц	год
Вычисление стока по кривой $Q = f(H)$ бесстойменное русло, кривая хорошо обоснована ИРВ	1–2	1–2	1–2

Продолжение табл. 31

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

* Наблюдения на гидрометеорологической сети СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. Табл. 2.

Задание 25

Прогноз изменений стока под влиянием проектируемого водохранилища

Требуется:

оценить изменение стока реки на перспективу при сооружении водохранилища.

Дано:

параметры проектируемого водохранилища (полный объем $V_{нпч}$, полезный объем V_p , мертвый объем $V_{умо}$, площадь зеркала при нормальном подпорном уровне $F_{нпч}$);

проектный режим регулирования стока (сезонное, многолетнее, суточное, недельное регулирование);

Характеристики зоны аэрации ложа водохранилища и прилегающих территорий (средняя мощность зоны аэрации ложа - H_l ; H_δ - средняя глубина грунтовых вод на территории, непосредственно прилегающей к будущему водохранилищу; M_l - коэффициент водоотдачи почвогрунтов ложа водохранилища; M_δ - то же прилегающих территорий);

средние многолетние метеорологические данные для определения испарения с водной поверхности водохранилища E_B и поверхности суши затапливаемой территории E_C ;

средний многолетний расход реки в проектном створе.

Порядок выполнения

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

$$\Delta S = S_{акк} + S_l + S_\delta ,$$

где $S_{акк}$ - объемы воды, расходуемые на заполнение водохранилища, S_l - затраты воды на насыщение зоны аэрации ложа водохранилища, S_δ - объемы воды, поступающие в берега.

Для этого:

а) определить $S_{акк} = V_{умо}$,

б) вычислить $S_l = H_l M_l F_B$,

в) вычислить S_δ по приближенной эмпирической формуле

$$S_\delta = 0,5 k_H S_{общ} M_\delta H_\delta^{0,6}$$

прине $S_{общ} = V_{нпч}$, коэффициент наполнения $k_H = 1$ (суточное и недельное регулирование), $k_H = 0,7-0,9$ (сезонное) и $k_H = 0,5-0,7$ (многолетнее регулирование);

Указание. S_δ и $S_{общ}$ в км^3 , H_δ в м;

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

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

Для этого:

а) определить слой дополнительных потерь E_3' на испарение зоны затопления $E_3' = E_B' - E_C' / 5,6\%$. В качестве первого приближения может быть использована карта рис.18;

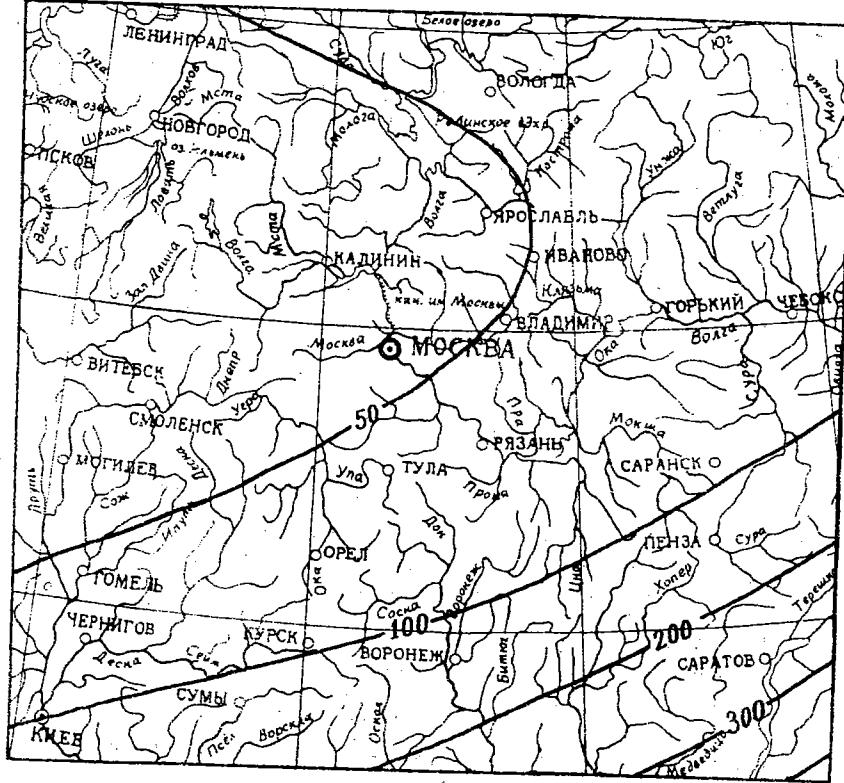


Рис.18. Среднее многолетнее дополнительное испарение, мм/год
(1/4, прил. 7.1)

б) вычислить объем потерь с зоны затопления $E_3 = E'_3 \bar{F}_3$,
где \bar{F}_3 — средняя площадь затопления, рассчитываемая приближенно
в зависимости от $F_{\text{НПУ}}$ с введением коэффициентов k_p и k_3 ,
 $\bar{F}_3 = k_p k_3 F_{\text{НПУ}}$.

Пояснение. $k_p = \bar{F}_B / F_{\text{НПУ}}$, \bar{F}_B — площадь зеркала при
среднем наполнении водохранилища, $k_3 = (\bar{F}_B - \bar{F}_p) / \bar{F}_B$, где \bar{F}_p —
площадь водного зеркала русла реки в естественных условиях.

Значения k_p зависят от характера регулирования: для равнинных
водохранилищ суточного и недельного регулирования $k_p = 1$, сезонного —
0,8—0,9. Значения коэффициента затопления k_3 составляют
0,7—0,8 для долинно-русловых и 0,6—0,7 — для русловых водохранилищ;

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

$$E_p = (E'_p - E'_c) F_p,$$

где E'_p — слой испарения с зоны подтопления, E'_c — слой испарения с площади суши по подтоплению. Величину E'_p для районов недостаточного увлажнения можно принять равной 2/3 испарения с водной поверхности, а для районов достаточного и избыточного увлажнения — равной испарению с водной поверхности. Площадь подтопления F_p принять 5—7% от площади водной поверхности $F_{\text{НПУ}}$.

В качестве первого приближения для равнинных водохранилищ потери стока с подтопленных территорий можно принять равными 5—10% от величины E_3 :

г) вычислить суммарные потери стока $\Delta E = E_3 + E_p$ и выразить их в размерности среднего многолетнего расхода ($\text{м}^3/\text{s}$ и %).

ЛИТЕРАТУРА

1. Определение расчетных гидрологических характеристик: СНиП 2.01. 14—83. Гос. ком. СССР по делам стр-ва. М.: 1985. 36 с.
2. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. I.: Гидрометеоиздат, 1984. 448 с.
3. Методические указания по оценке влияния хозяйственной деятельности на сток средних и больших рек и восстановлению его характеристик. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 78 с.
4. Методические рекомендации по учету влияния хозяйственной деятельности на сток малых рек при гидрологических расчетах для водохозяйственного проектирования. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 167 с.
5. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 95 с.
6. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 83 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	
Тема I. Годовой сток	3
Задание 1. Расчеты годового стока по имеющемуся ряду наблюдений	4
Задание 2. Оценка репрезентативности периода наблюдений	4
Задание 3. Приведение параметров кривых обеспеченности к многолетнему периоду	9
Задание 4. Расчет годового стока при отсутствии материалов гидрометрических наблюдений.....	10
Тема II. Внутригодовое распределение стока	12
Задание 5. Расчет распределения стока по сезонам года методом компоновки	14
Задание 6. Расчет внутрисезонного распределения	14
Задание 7. Выбор расчетного года по обеспеченности лимитирующих периодов, сезона и месяца	17
Задание 8. Выбор года из фактических по оценке дефицитов стока	18
Задание 9. Определение ординат кривой продолжительности суточных расходов воды и коэффициента естественной зарегулированности стока	19
Задание 10. Построение средней кривой продолжительности суточных расходов воды. Исследование зависимости внутригодового распределения от водности года	20
Задание 11. Расчеты внутригодового распределения стока при недостаточности материалов гидрометрических наблюдений	21
Тема III. Минимальные расходы воды.....	22
Задание 12. Определение минимальных 36-дневных расходов воды по таблицам ежедневных расходов воды	24
Задание 13. Расчеты минимального стока при наличии гидрометрических наблюдений.....	25
Задание 14. Определение минимальных расходов при отсутствии материалов наблюдений.....	26

Тема IV. Максимальный сток	
Задание 15. Расчет максимальных расходов воды весеннего половодья при наличии материалов наблюдений	32
Задание 16. Расчет максимальных расходов воды весеннего половодья при отсутствии материалов наблюдений	32
Задание 17. Расчет максимальных расходов дождевых паводков при наличии материалов наблюдений	34
Задание 18. Расчет максимальных расходов воды дождевых паводков по редукционной формуле	40
Задание 19. Расчет максимальных расходов воды по формуле предельной интенсивности стока	41
Задание 20. Построение расчетного гидрографа по моделям наблюдавшихся весенних половодий	44
Задание 21. Построение расчетного гидрографа весеннего половодья по типовому уравнению	52
Задание 22. Построение расчетного гидрографа дождевого паводка по типовому уравнению	54
Задание 23. Установление времени начала нарушения естественного стока	57
Задание 24. Оценка изменений стока под влиянием хозяйственной деятельности	59
Задание 25. Прогноз изменений стока под влиянием проектируемого водохранилища	62
Литература	64
	67