

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

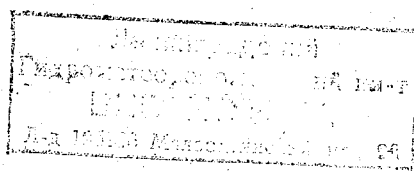
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

И. Ф. ГОРОШКОВ, В. Г. ОРЛОВ, Т. А. СОКОЛОВА

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

по курсу

„ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ“



ЛЕНИНГРАД
1976

УДК 556.167

*Одобрено Ученым советом
Ленинградского гидрометеорологического института*

Задания предназначены студентам гидрометеорологических вузов, географических факультетов университетов и гидротехнических специальностей. Приведены задания по расчетам различных характеристик стока и контрольные вопросы по разделам курса.

Ответственный редактор доцент *И. Ф. Горошков*

© Ленинградский гидрометеорологический институт (ЛГМИ), 1976 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В курсе «Гидрологические расчеты» основное внимание уделяется изучению процессов формирования речного стока и географических закономерностей изменчивости его характеристик в пространстве и во времени, а также усвоению основных методов расчета различных элементов стока, используемых в гидротехническом и водохозяйственном проектировании. После изучения теоретической части курса студенты выполняют отдельные задания для закрепления знаний по основным разделам.

Настоящее пособие составлено в соответствии с программой курса «Гидрологические расчеты» и является руководством для выполнения практических заданий студентами гидрометеорологических институтов, географических факультетов университетов и гидротехнических специальностей. Пособие может быть также полезным и специалистам практикам.

С целью более полного представления об общем режиме стока и взаимосвязи его характеристик, основные расчеты выполняются по одному и тому же створу реки с привлечением материалов рек-аналогов.

Для выполнения расчетной части работ каждый студент получает от преподавателя отдельные варианты — река, створ, район.

Ход выполнения каждого задания сопровождается пояснительным текстом, который должен содержать ответы на следующие вопросы:

1. Существующие методы определения данных характеристик и предъявляемые требования к их расчетам.

2. Анализ исходных данных, используемых для выполнения задания — продолжительность и период наблюдений в расчетном створе и створе-аналоге, оценка их надежности, экстремальные значения используемых характеристик стока.

3. Пояснения хода вычислений и графических построений, оценка их обоснованности, источники заимствованных расчетных параметров и дополнительных материалов.

4. Обоснования рекомендаций, характеристик и параметров, полученных в расчетах для практических целей.

Перед выполнением каждого задания студент должен изучить соответствующую литературу по данному разделу и дать в письменном виде ответы на ряд контрольных вопросов, поставленных перед расчетной частью задания.

Выполненные задания представляются в письменном виде с соответственно оформленным текстом, таблицами и рисунками.

ЗАДАНИЕ I

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМЫ ГОДОВОГО СТОКА

Контрольные вопросы

1. Что называется нормой годового стока, ее значение в оценке водных ресурсов рек, единицы измерения, точность и способы определения в зависимости от наличия данных наблюдений?
2. Как влияют на норму годового стока климатические и местные физико-географические факторы или факторы подстилающей поверхности, в том числе уклон и размер речного бассейна?
3. Каковы принципиальные основы построения карт нормы годового стока и по каким бассейнам используются материалы наблюдений для построения этих карт?
4. Как определить норму годового стока больших рек и малых водотоков по карте?
5. Что такое поправочный коэффициент к карте нормы годового стока для малых водотоков, его величина для различных географических зон и как он учитывается при пользовании картой?

Порядок выполнения

1. Определить норму годового стока выбранной реки, которую в дальнейшем будем называть расчетной, в створе с площадью водосбора $F = \dots$ км², используя материалы наблюдений за n лет, включая 19... — 19... гг.

Для этого необходимо выписать средние годовые расходы воды за все годы наблюдений, включая последние годы, не вошедшие в справочники, и вычислить средний расход за короткий ряд наблюдений n лет по формуле

$$Q_{0n} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1)$$

и средний модуль стока

$$M_{0n} = \frac{Q_{0n}}{F} \cdot 1000 \text{ л/с с } 1 \text{ км}^2. \quad (2)$$

Вычислить относительную среднюю квадратическую ошибку нормы, установленной по ограниченному ряду наблюдений n лет, по формуле

$$\sigma_{n\%} = \pm \frac{C_{vn} \cdot 100}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

где C_{vn} — коэффициент вариации годовых величин стока расчетной реки за n лет наблюдений, принятых для определения нормы стока.

Определить значение C_v аналитическим способом, который называется способом моментов, по уравнению

$$C_{vn} = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad (4)$$

где K_i — модульные коэффициенты годовых расходов, определяемые по формуле

$$K_i = \frac{Q_i}{Q_{0n}}. \quad (5)$$

Вычисления свести в стандартную таблицу (табл. 1).

Таким образом, с учетом средней квадратической ошибки n -летней средней норма годового стока расчетной р. . . . в створе будет равна

$$Q_{0N} = Q_{0n} \pm \frac{Q_{0n} \cdot \sigma_{n\%}}{100} \text{ м}^3/\text{с}. \quad (6)$$

Согласно официальным нормативам, для большей части территорий Советского Союза допустимая ошибка нормы годового стока $\sigma_{n\%}$ не должна превышать $\pm 5\%$.

Из формул (3) и (4) вытекает, что величина $\sigma_{n\%}$ определяется главным образом продолжительностью ряда наблюдений. Поэтому при коротких рядах n лет необходимо привести величины Q_{0n} к их многолетним значениям Q_{0N} т. е. к норме стока. Даже и в том случае, когда вычисленная по формуле (3) $\sigma \leq 5\%$, необходимо исследовать короткий период наблюдений n лет относительно многолетней водности и цикличности, установить его репрезентативность и привести Q_{0n} к Q_{0N} .

Подсчет коэффициентов вариации и асимметрии

[illegible]

Вычисли-

Проверил -

Q_{0n} расчетной реки к многолетней норме Q_{0N} .

Для этого необходимо выполнить следующее:

а) Выбрать один-два опорных створа (пункта) на реках-аналогах с продолжительностью наблюдений N лет не менее 40—50 лет, включающие не менее двух полных циклов колебаний по водности. Аналогами для расчетного бассейна могут служить близко расположенные бассейны или створы на той же расчетной реке, которые обладают зональной однородностью по географическому и высотному положению, имеют близкое значение нормы стока по карте изолиний, имеют сходства в отношении факторов подстилающей поверхности (озерность, заболоченность, залесенность, рельеф и др.). При этом необходимо также учитывать размеры бассейнов и искажение естественной величины стока (изъятие и переброска стока, многолетнее регулирование). Для горных рек дополнительным условием при выборе аналога является близкое высотное положение истоков и средней высоты водосборов, а также одинаковая ориентация склонов водосборов и направление речных долин. Сравниваемые характеристики помещаются в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Основные характеристики расчетной реки и реки-аналога

[illegible]

Наиболее объективным критерием правильности выбора аналога является наличие синхронности колебаний и тесная коррелятивная связь годовых величин стока расчетного створа и створа аналога за годы одновременных наблюдений.

Проверяется синхронность колебаний годового стока по совмещенным хронологическим графикам (рис. 1) или интегральным кривым отклонений от середины модульных коэффициентов годового стока (рис. 2). На этих рисунках можно проследить по реке-аналогу цикличность колебаний годового стока, установить количество полных циклов и их продолжительность и оценить водность

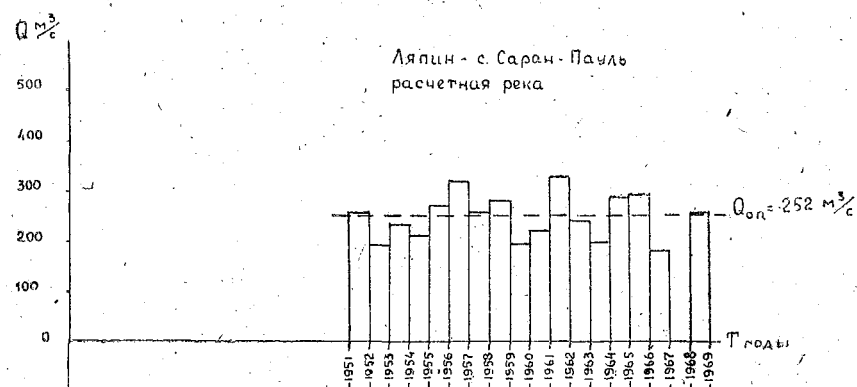
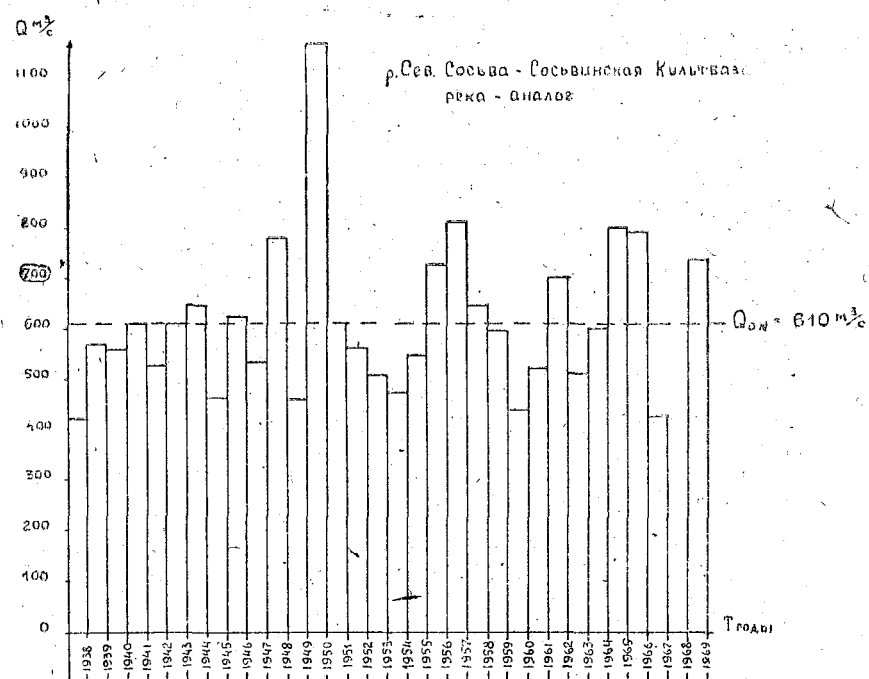


Рис. 1. Синхронность колебаний годового стока по совмещенным хронологическим графикам.

периода наблюдений, соответствующего наблюдениям на расчетной реке (включает ли он полные циклы или только отдельные их фазы).

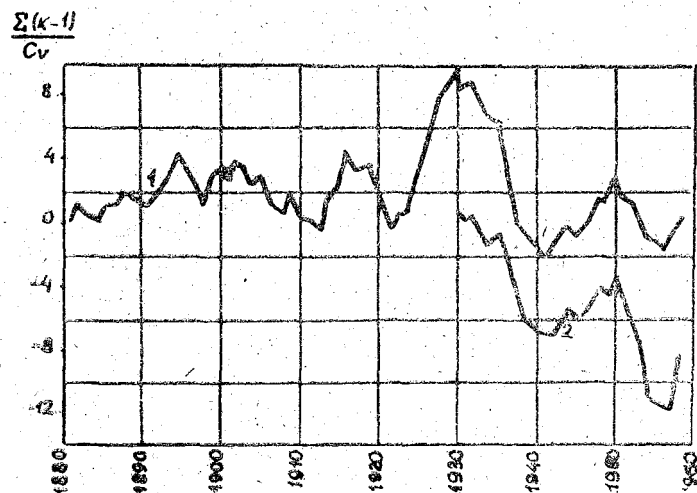


Рис. 2. Интегральные кривые отклонений от середины модульных коэффициентов годового стока.
1—р. Кама, г. Пермь, $C_v=0,19$; 2—р. Кама, с. Волосинское, $C_v=0,22$.

б) По аналогу оценить водность периода наблюдений n лет на расчетной реке относительно многолетнего периода с помощью коэффициента водности $K_{вн}$ по формуле

$$K_{вн} = \frac{Q_{0на}}{Q_{0Na}}, \quad (7)$$

где Q_{0Na} — среднемноголетний расход аналога; $Q_{0на}$ — средний расход аналога за период n лет, соответствующий наблюдениям в расчетном створе.

в) Построить график связи среднегодовых величин стока расчетной реки и реки-аналога за период одновременных наблюдений и оценить ее тесноту. График строится в таком масштабе, чтобы линия связи проходила под углом, близким к 45° , что почти всегда достигается, если пользоваться модулями годового стока M л/с с 1 км^2 , а не расходами (рис. 3). Связь годовых модулей считается удовлетворительной для последующих расчетов, если отклонения точек от принятой осредненной прямой не превышают 15% и коэффициент корреляции ее $r \geq 0,7-0,8$. Отклонения отдельных точек, превышающих 15%, должны быть объяснены на основе дополнительного анализа.

г) Определить коэффициент корреляции связи r по формуле

$$r = \frac{\sum (y_i - y_0) (x_i - x_0)}{\sqrt{\sum (y_i - y_0)^2 \sum (x_i - x_0)^2}}, \quad (8)$$

где y_i и x_i — соответственные значения годового стока расчет-

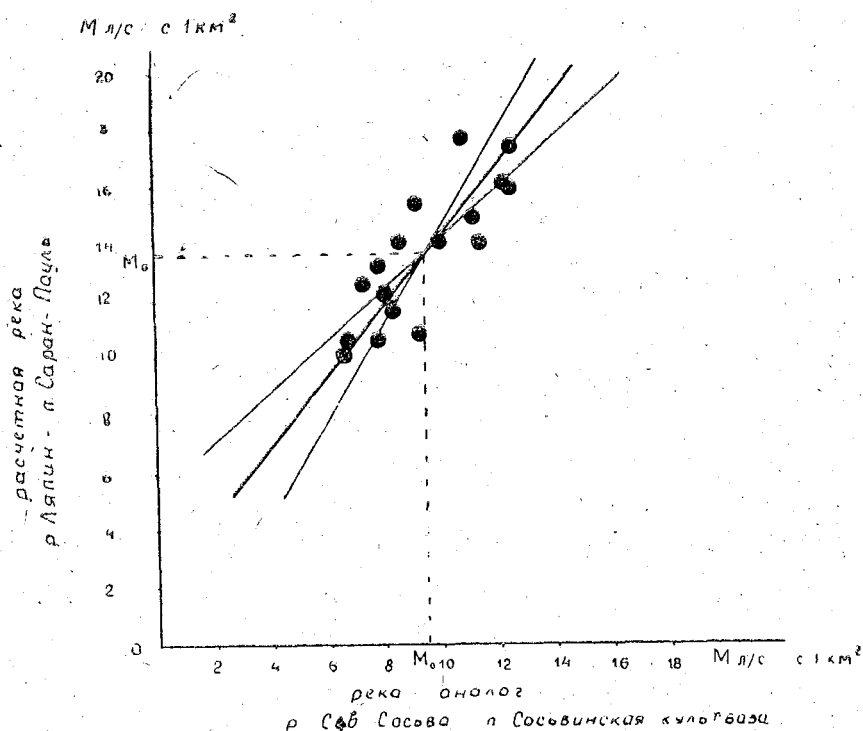


Рис. 3. График связи среднегодовых величин стока расчетной реки и реки-аналога за период одновременных наблюдений.

ной реки и реки-аналога, y_0 и x_0 — средние значения годового стока в рассматриваемых створах за период одновременных наблюдений n лет.

Вычисление коэффициента корреляции и определение уравнения регрессии связи сводятся в специальную таблицу (табл. 3). Если предъявленные требования не выполняются, то подбирается другой, более лучший аналог.

д) Пользуясь принятой к расчетам связью годовых модулей стока, определить норму годового стока в расчетном створе графически, непосредственно по известной норме стока реки-аналога, по-

лученной за весь многолетний период наблюдений. При нелинейной связи по графику восстанавливаются годовые модули стока для расчетного створа по годовым модулям соответствующих лет реки-аналога за весь тот период, когда не было наблюдений в расчетном створе. Затем по удлиненному ряду, состоящему из наблюдаемых и восстановленных величин, определяется средняя многолетняя величина (или норма) годового стока расчетной реки по формуле

$$M_{0N} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{N} \text{ л/с с 1 км}^2, \quad (9)$$

где N — число лет наблюдений в створе аналога.

е) Вычислить ошибку расчетной нормы годового стока, полученной путем приведения короткого ряда наблюдений к многолетнему периоду по графику связи. Она состоит из ошибки средней величины ряда наблюдений в опорном пункте на реке-аналоге и ошибки корреляции, обусловленной разбросом точек на графике связи, и вычисляется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \%, \quad (10)$$

где σ_1 — ошибка средней величины из длинного ряда N лет в створе аналога, определяемая по формуле (3) в %; σ_2 — ошибка корреляции (связи) стока в двух створах за период одновременных наблюдений n лет в %, равная

$$\sigma_2 = \frac{C_{\sigma n} \sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n}} \cdot 100 \%, \quad (11)$$

где $C_{\sigma n}$ — коэффициент вариации годового стока в расчетном створе за период непосредственных наблюдений n лет, определенный ранее по формуле (4); r — коэффициент корреляции связи стока в двух створах; n — число лет одновременных наблюдений.

3. Определить норму годового стока в расчетном створе р. . . . , пользуясь картой изолиний модулей стока.

4. Сравнить значения нормы годового стока, полученные в результате вычислений по трем вариантам и рекомендовать наиболее надежную величину в качестве расчетной (табл. 4).

5. Сопоставить норму годового стока расчетной реки и 3—4 соседних рек данного района, включая реку-аналог, и сделать соответствующие выводы (табл. 5).

Определение коррелятивной связи

13

Пояснения к таблице 3:

Построчный контроль

$$\Delta_{x^2} + 2\Delta_x \cdot \Delta_y + \Delta_{y^2} = (\Delta_x + \Delta_y)^2.$$

Общий контроль

$$\Sigma (\Delta_x + \Delta_y)^2 = \Sigma \Delta_{x^2} + 2\Sigma \Delta_x \cdot \Delta_y + \Sigma \Delta_{y^2}.$$

Средние квадратичные отклонения σ_x и σ_y

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\Sigma (x-x_0)^2}{n-1}}, \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\Sigma (y-y_0)^2}{n-1}}.$$

Коэффициент корреляции

$$r_{xy} = \frac{\Sigma (x-x_0) (y-y_0)}{\sqrt{\Sigma (x-x_0)^2 \Sigma (y-y_0)^2}} = \frac{\Sigma \Delta_x \cdot \Delta_y}{n \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y}.$$

Коэффициент регрессии

$$R_{x|y} = r \frac{\sigma_x}{\sigma_y}, \quad R_{y|x} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x}.$$

Уравнение прямой регрессии

$$x \text{ по } y \quad x-x_0 = Rx/y(y-y_0),$$

$$y \text{ по } x \quad y-y_0 = Ry/x(x-x_0).$$

Средняя ошибка уравнения регрессии

$$S_x = \sigma_x \sqrt{1-r^2}, \quad S_y = \sigma_y \sqrt{1-r^2}.$$

Вероятная ошибка коэффициента корреляции

$$E_r = 0,674 \frac{1-r^2}{\sqrt{n}}.$$

Предельная ошибка

$$r = \pm 4Er.$$

Таблица 4

Значения нормы годового стока, установленной различными способами, $p, \dots$
в створе . . .

Способ определения нормы	M , л/с с 1 км ²	Q , м ³ /с	Отклонения от принятой нормы в %
По короткому ряду			
Приведенная к много- летнему периоду			
По карте изолиний			

Таблица 5

Средние величины и коэффициенты вариации годового стока рек района $p, \dots$

Река-пункт	F , км ²	Период наблюдений	Средний за период		Средний многолетний		Коэффициент вариации
			Q , м ³ /с	M , л/с с 1 км ²	Q , м ³ /с	M , л/с с 1 км ²	
			Р а с ч е т н ы й с т в о р				
			С т в о р - а н а л о г				

6. Выразить установленную норму годового стока расчетной реки в виде

$$Q_{0N} = \quad \text{м}^3/\text{с},$$

$$M_{0N} = \quad \text{л/с с 1 км}^2,$$

$$y_{0N} = 31,5 \cdot M_{0N} = \quad \text{мм},$$

$$W_{0N} = 31,5 \cdot 10^6 \cdot Q_{0N} = \quad \text{м}^3.$$

Вычислить средний многолетний коэффициент стока α_0 и слой потерь на испарение z_0 с поверхности речного бассейна по формулам:

$$\alpha_0 = \frac{y_{0N}}{x_0}, \quad (12)$$

$$z_0 = x_0 - y_{0N}, \quad (13)$$

где x_0 — норма осадков, средняя по бассейну в мм.

7. Написать пояснительный текст.

ЗАДАНИЕ 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВочНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ К КАРТЕ НОРМ СТОКА ДЛЯ МАЛЫХ БАСЕЙНОВ

Контрольные вопросы

1. Написать уравнения водного баланса нормы годового стока для речных бассейнов: а) представляющих замкнутую систему, русла которых полностью дренируют подземный сток зоны активного обмена; б) периодически действующих водотоков, не дренирующих подземные воды; в) промежуточных водотоков, частично дренирующих подземные воды.
2. Каково соотношение поверхностного и подземного стока, составляющих норму годового стока больших и малых бассейнов разных географических зон?
3. Почему норма стока малых водотоков зоны сухих степей и полупустынь больше нормы стока больших рек?

Порядок выполнения

Установить поправочные коэффициенты к карте изолиний нормы годового стока для определения по ней нормы стока малых водотоков с разными площадями водосборов. Для этого необходимо:

1. Выбрать район (зону), в пределах которого имеются одинаковая или почти одинаковая норма стока по карте и сведения о норме годового стока малых водотоков с разными по величине площадями водосборов. В качестве такого района обычно выбирается район стоковой станции, где имеются многолетние наблюдения по стоку малых водотоков, включая и экспериментальные площадки.
2. В таблицу по форме табл. 6 выписать сведения о водосборах, продолжительности наблюдений за стоком и норме годового стока. Кроме малых водотоков включить в таблицу реки, данные наблюдений по которым использованы при построении карты (замкнутые системы).
3. Построить зависимость нормы стока от площади водосбора $h_0 = f(\lg F)$. Установить значение критической площади $F_{кр}$, ниже которого h_0 зависит от F и выше которого h_0 или M_0 является зональной величиной и не зависит от площади.
4. Используя график связи $h_0 = \Psi(F)$, определить поправочные коэффициенты для различных значений площадей, $F_i \leq F_{кр}$ по соотношению (табл. 7):

$$K_{F_i} = \frac{h_{0F_i}}{h_{0\text{зон}}},$$

где h_{0F_i} — значения нормы стока, снятые с графика при F_i ; $h_{0\text{зон}}$ — зональное значение нормы стока, снятое с карты изолиний ($h_0 = 31,5 M_0$).

Таблица 6

Сведения о водосборах, продолжительности наблюдений и норме годового стока района . . .

№	п/п	Наименование водотока	F, км²	L, км	Средний уклон в ‰		Площадь (в ‰), занятая					Число лет наблюдений	Период наблюдений	Норма годового стока				
					водосбора	водотока	лесом	лугам	пашней	болотами	озерами			средняя за период наблюдений	Q, м³/с	M, л/с	h, мм	
1																		
2																		
...																		
K-1																		
K																		

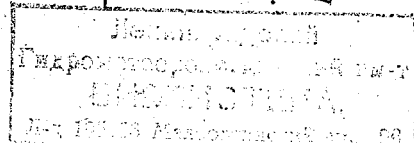


Таблица 7

Поправочные коэффициенты к норме стока по карте изолиний нормы стока ГГИ, учитывающие неполное дренирование руслами подземных вод (или учитывающие уменьшение потерь на испарение с поверхности водосборов и речных плесов)

Характеристики	Площадь водосбора, км ²							
	1	5	10	20	50	100	200	500
Зональная норма в h_0 , снятая с карты								
Норма стока, снятая с графика в h_0								
Поправочный коэффициент $K_{Fi} = \frac{h_{0Fi}}{h_{0\text{зон}}}$								

5. Произвести анализ графика $h_0 = f(F)$ и пояснить отклонение точек, имея в виду, что они обусловлены различием факторов подстилающей поверхности (уклон, распаханность, залесенность и т. д.).

6. Построение, анализ и расчет сопровождаются кратким пояснительным текстом.

ЗАДАНИЕ 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОДОВОГО СТОКА РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ

Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы экстраполяции эмпирических кривых обеспеченности годового стока?
2. Какие кривые распределения применяются в гидрологических расчетах? Их достоинства и недостатки.
3. Что характеризуют среднее квадратическое отклонение σ , коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s ? Способы определения этих параметров, их устойчивость и соотношения.
4. Как влияют изменения величин C_v и C_s на форму кривых обеспеченности?

5. Почему биномиальной кривой распределения (обеспеченности) свойственно соотношение $C_s \geq 2C_v$?

6. Каковы значения коэффициентов вариации годового стока рек Советского Союза по районам?

7. В чем заключается влияние площади водосбора на вариацию годового стока и где это влияние выражено слабее или сильнее?

Порядок выполнения

Определить годовые расходы воды в расчетном створе заданных обеспеченностей $P=1, 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95$ и 97% (выполнить в двух вариантах):

1) используя параметры кривой обеспеченности Q_{0_n} , C_{v_n} и C_{s_n} , вычисленные по ряду непосредственных наблюдений n лет;

2) используя параметры, приведенные к многолетним значениям — Q_{0_N} , C_{v_N} и C_{s_N} , способом Г. А. Алексеева.

1. Для решения поставленной задачи по первому варианту необходимо:

а) вычислить параметры кривой обеспеченности Q_{0_n} , C_{v_n} и C_{s_n} и их ошибки;

б) построить совмещенные эмпирическую и теоретические кривые обеспеченности при различных значениях C_s ;

в) выбрать в качестве расчетной такую теоретическую кривую, которая лучше соответствует эмпирической кривой (наблюденным точкам), и по ней вычислить расходы заданных обеспеченностей.

Подсчет необходимых параметров и характеристик свести в таблицу по форме табл. 1. Годовые расходы воды, их модульные коэффициенты и значение коэффициента вариации C_v заимствовать из задания 1. Коэффициент асимметрии C_s равен

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{n \cdot C_v^3} \quad (14)$$

Относительные средние квадратические ошибки C_v и C_s вычислить по формулам:

$$\sigma_{Q_0} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100\%; \quad (15)$$

$$\sigma_{C_v} = \pm \frac{\sqrt{1 + 2C_v^2}}{\sqrt{2n}} \cdot 100\%; \quad (16)$$

$$\sigma_{C_s} = \pm \sqrt{\frac{6}{n}} \sqrt{1 + 6C_v^2 + 5C_v^4} \cdot 100\%. \quad (17)$$

Параметры определить с точностью: $K, C_v, C_s, \sigma_{C_v}, \sigma_{C_s}$ — два знака после запятой; $(K-1)^2$ и $(K-1)^3$ — четыре знака после запятой. Контроль вычислений: $\sum_1^n K = n$ (числу членов ряда); $\sum (K-1) = 0$. Погрешности за счет округления K при вычислении их с помощью логарифмической линейки обычно невелики, и если невязка не превышает 0,2—0,4, то она разбрасывается в ряд K . Грубые ошибки влияют на C_v и кривую обеспеченности и поэтому должны исправляться.

Из формул (15), (16) и (17) видно, что Q_0 и C_v являются сравнительно устойчивыми параметрами и могут быть установлены с приемлемой практической точностью при наблюдениях 20—50 лет, а параметр C_s мало устойчив и содержит большие ошибки даже при $N=50$ —100 лет.

Обеспеченность модульных коэффициентов (эмпирических точек) убывающего ряда $P\%$ вычисляется по формуле

$$P = \frac{m-0,3}{n+0,4} \cdot 100\%, \quad (18)$$

где m — порядковый номер члена (K или Q) убывающего ряда; n — число членов ряда или лет наблюдений.

Значения $P\%$, вычисленные по формуле (18), в зависимости от числа членов ряда n , приводятся в специальных таблицах.

Эмпирическая кривая обеспеченности строится в относительных единицах — модульных коэффициентах по значениям K и $P\%$ (табл. 1) на специальной клетчатке вероятностей полулогарифмического или логарифмического масштаба, что позволяет спрямить кривые и тем самым облегчить их экстраполяцию.

Теоретические кривые строятся по ординатам, относительные значения которых являются функцией C_v, C_s и P , т. е. $K_P = \Phi(C_v, C_s, P)$, и определяются по таблицам Фостера-Рыбкина для биномиальной кривой или таблицам Крицкого-Менкеля для кривых этих же авторов, помещенные во всех учебных пособиях.

При нестандартном соотношении $\frac{C_s}{C_v}$ пользуются таблицей отклонений ординат биномиальной асимметричной кривой обеспеченности от середины (от 1,0) при $C_v = 1$ $\Phi = f(C_s, P) \frac{K_P - 1}{C_v}$,

а значения ординат теоретической кривой вычисляются по формуле

$$K_P = \Phi_P \cdot C_v + 1,0. \quad (19)$$

Значения Φ_P , соответствующие $P\%$, выписываются из строки таблицы против значения C_s , вычисленного по формуле (14) или назначенного подбором. Вычисления K_P сводятся в таблицу по форме табл. 8.

Таблица 8

Вычисление ординат кривой обеспеченности

$P\%$	0,1	1	5	10	...	95	99
Φ_P							
$\Phi_P \cdot C_v$							
$K_P = \Phi_P C_v + 1$							

Затем, откладывая на клетчатке вероятностей по оси ординат значения K_P , а по оси абсцисс соответствующие им обеспеченности $P\%$, получим ряд точек, по которым проводим плавную теоретическую кривую обеспеченности средних годовых расходов.

Если теоретическая кривая обеспеченности проходит по эмпирическим точкам или занимает среднее положение относительно их, то она принимается за расчетную. В случае несовпадения теоретической кривой с эмпирической необходимо подобрать такое значение C_s , равное $2C_v$, $3C_v$, $4C_v$, при котором теоретическая кривая наилучшим образом соответствует эмпирическим точкам.

Несоответствие теоретической кривой расположению эмпирических точек (эмпирической кривой) может быть объяснено ошибкой вычисления C_v , а чаще всего большой ошибкой C_s при коротких рядах $n < 50$ лет, что и служит основанием подбирать C_s . Для средних годовых расходов наиболее часто принимается $C_s = 2C_v$.

Для построения теоретических кривых обеспеченности при стандартных соотношениях $\frac{C_s}{C_v}$ ($C_s = 2C_v$, $3C_v$, $4C_v$) пользуются спе-

циальными таблицами, в которых против соответствующих значений C_v помещены уже вычисленные значения ординат K_P .

Анализ совмещенных кривых обеспеченности позволяет выбрать ту теоретическую кривую, которая лучше соответствует эмпирическим точкам и рекомендовать ее (C_v и C_s) в качестве расчетной для определения обеспеченных расходов.

Обеспеченные расходы Q_P определяются по формуле.

$$Q_P = K_P Q_0 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (20)$$

где K_P — модульный коэффициент обеспеченности $P\%$, снятый с расчетной теоретической кривой обеспеченности;

Q_0 — средний многолетний расход.

Для контроля расчетные значения годового стока за многоводные и маловодные годы сопоставляются с соответствующими наблюдаемыми величинами за крайние по водности годы.

Вычисления сводятся в таблицу по форме табл. 9.

Таблица 9

Годовые расходы воды расчетной реки . . .
у п. . . . заданных обеспеченностей при $n =$ лет, $Q_{0n} =$ м³/с,
 $C_v =$ и $C_s =$

Параметры	Обеспеченность, $P\%$					Наблюдаемые	
	1	5	10	...	97	многоводный 19 г.	маловодный 19 г.
$K_{P\%}$							
$Q_{P\%}$, м ³ /с							

2. Для приведения параметров кривой обеспеченности Q_0 , C_v и C_s к их многолетним значениям по второму варианту и определения по ним годовых расходов воды в расчетном створе . . . на р. . . . заданных обеспеченностей необходимо выполнить следующее.

По реке-аналогу, выбранному в задании 1, выписать в табл. 10 годовые расходы за весь период наблюдений N лет. Расходы расположить в убывающем порядке и по формуле (18) вычислить обеспеченность $P\%$.

Таблица 10

Годовые расходы реки-аналога р. . . . у п. . . . и их обеспеченность
для построения эмпирической кривой обеспеченности

№ п/п	Год	Q , м ³ /с	Q , м ³ /с в убыв. порядке	$P = \frac{m-0,3}{n+0,4} 100\%$
1				
2				
.				
.				
$N-1$				
N				

На клетчатке вероятностей нанести точки наблюдаемых расходов Q_i , расположенных в убывающем порядке, и провести сглаженную кривую обеспеченности годовых расходов реки-аналога. Затем с этой кривой снять три характерные ординаты — годовые расходы $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{95\%}$.

Пользуясь графиком связи годовых модулей стока расчетной реки и реки-аналога, построенным за период одновременных наблюдений n лет (задание 1), определить соответствующие расходы расчетной реки $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$ и $Q_{95\%}$, которые служат характерными ординатами для определения многолетних значений параметров кривой обеспеченности расчетной реки.

По этим значениям вычислить коэффициент скошенности кривой обеспеченности S , который является функцией коэффициента асимметрии C_s :

$$S = \frac{Q_{5\%} + Q_{95\%} - 2Q_{50\%}}{Q_{5\%} - Q_{95\%}}, \quad (21)$$

где $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$ и $Q_{95\%}$ — величины годового стока соответствующей обеспеченности расчетной реки, установленные с помощью графика связи годовых модулей по соответствующим расходам реки-аналога.

По вычисленному значению S находится соответствующее значение коэффициента асимметрии C_s по табл. 4.7 из книги К. П. Клибашева и И. Ф. Горошкова «Гидрологические расчеты».

Далее определяются среднее квадратическое отклонение σ_Q и среднее значение или норма годового стока Q_{0N} по формулам:

$$\sigma_Q = \frac{Q_{5\%} - Q_{95\%}}{\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}}; \quad (22)$$

$$Q_{0N} = Q_{50\%} - \sigma_Q \Phi_{50\%}. \quad (23)$$

где $\Phi_{5\%}$, $\Phi_{50\%}$ и $\Phi_{95\%}$ — относительные отклонения ординат биномиальной кривой обеспеченности от середины (1, 0) при $C_v = 1$, 0 и установленном C_s .

Коэффициент вариации определяется по формуле

$$C_v = \frac{\sigma_Q}{Q_{0N}}. \quad (24)$$

Установленные таким образом Q_{0N} , C_v и C_s являются приведенными к многолетним значениям параметрами кривой обеспеченности годового стока расчетной реки, по которым необходимо построить на отдельной клетчатке теоретическую кривую обеспеченности. Для проверки соответствия этой теоретической кривой дан-

ным наблюдений следует нанести на эту же клетчатку эмпирические точки в расходах по табл. 1 из задания 1.

Вычисления годовых расходов заданных обеспеченностей по второй теоретической кривой поместить в табл. 11.

Таблица 11

Годовые расходы воды расчетной реки у заданных обеспеченностей, вычисленные по многолетним значениям параметров кривой обеспеченности
 $N =$ лет, $Q_{0N} =$ м³/с, $C_v =$, $C_s =$

$P\%$	5	10	25	50	75	90	95	97
$Q_{P\%}$								

Сопоставить обеспеченные расходы, вычисленные по двум вариантам.

Кривые обеспеченности оформить по образцу рис. 4.

ЗАДАНИЕ 4

РАСЧЕТ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА

Контрольные вопросы

1. Как влияют климатические и местные физико-географические факторы на внутригодичное распределение стока больших и малых рек, полностью и не полностью дренирующих подземный сток?
2. Какое практическое значение имеют исследования и расчеты внутригодичного распределения стока?
3. Какие существуют методы расчета внутригодичного распределения стока при отсутствии наблюдений?
4. Что вам известно о кривых продолжительности стояния (обеспеченности) суточных расходов воды, видах кривых, назначении и их особенностях?

Порядок выполнения

Рассчитать внутригодичное распределение стока расчетной реки в створе характерных по водности лет — многоводного, среднего и маловодного года — обеспеченности 5%, 50% и 95%, пользуясь методом гидрологической аналогии. Результаты расчетов представить в виде средних месячных расходов воды.

Исходные данные: средние месячные расходы воды в расчетном створе за все годы наблюдений n лет.

1. Пользуясь таблицей средних месячных расходов воды за весь период наблюдений, выбрать характерные по водности годы, вну-

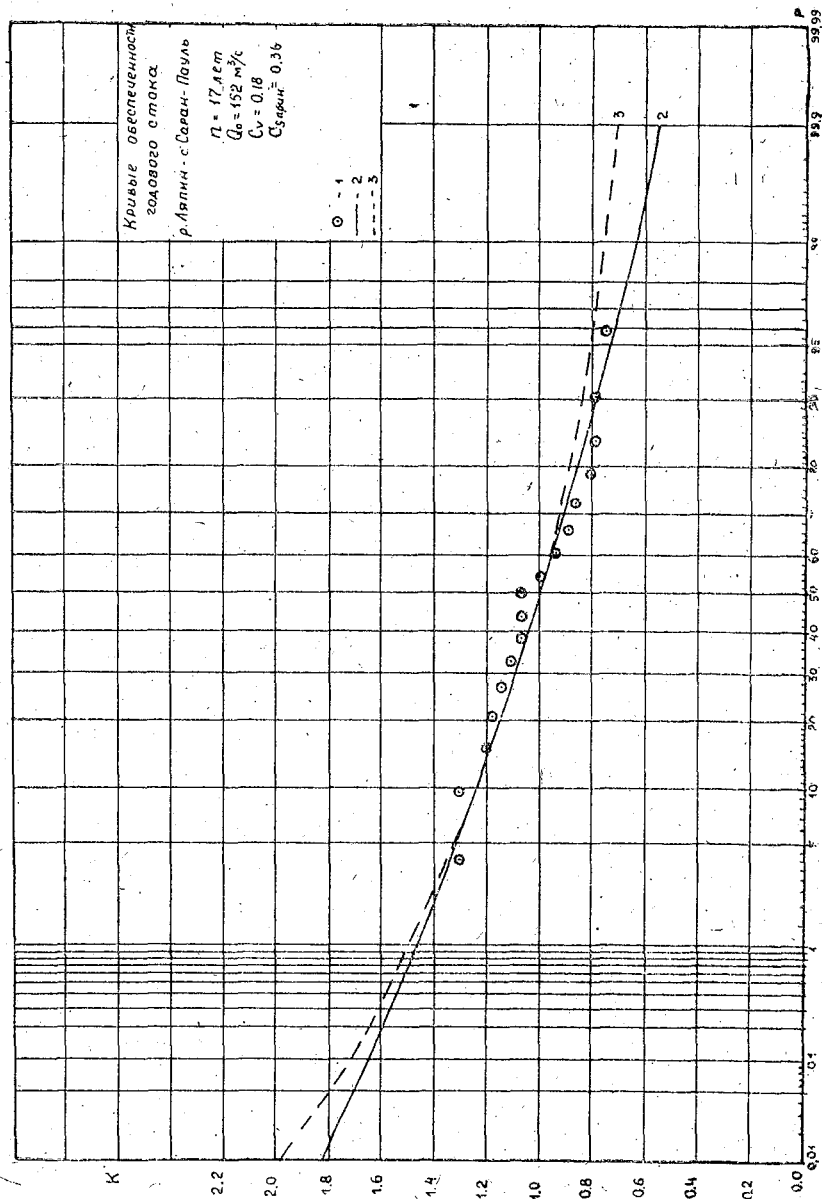


Рис. 4. Кривые обеспеченности годового стока:
 1 — эмпирическая; 2 — теоретическая при $C_s=2C_v$; 3 — теоретическая
 при $C_s=3C_v$.

тригодовое распределение которых принимается в качестве расчетной модели:

а) **средний год** — год с годовым расходом, близким по своему значению к годовому расходу 50%-ной обеспеченности и распределением стока по месяцам, близким к осредненному распределению за все годы наблюдений (фиктивному распределению);

б) **многоводный год** — год с наиболее высокими по объему весенним половодьем или дождевыми паводками и годовым расходом, близким к годовому расходу 5%-ной обеспеченности;

в) **маловодный год** — год с наиболее низкой и продолжительной меженью в течение зимнего или летнего сезонов, которая лимитирует водопотребление, и годовым расходом, близким к расходу 95%-ной обеспеченности. В районах избыточного и достаточного увлажнения лимитирующим сезоном является зимний, в районах недостаточного увлажнения — летний.

Выписать средние месячные и годовые расходы характерных лет в отдельную таблицу и выразить их внутригодовое распределение в долях или процентах от среднего годового расхода соответствующего года (табл. 12).

Таблица 12

Внутригодовое распределение стока р. . . . в створе . . .
за характерные годы-модели и расчетные годы

Характеристика года		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
		Характерные годы-модели												
Средний 19 г.	в Q м ³ /с													$Q_{ср}$
	в долях													1,0
Многоводный 19 г.	в Q м ³ /с													$Q_{ср}$
	в долях													1,0
Маловодный 19 г.	в Q м ³ /с													$Q_{ср}$
	в долях													1,0
		Расчетные годы												
Средний 50%														$Q_{50\%}$
Многоводный 5%														$Q_{5\%}$
Маловодный 95%														$Q_{95\%}$

Затем выписать из задания 2 годовые расходы 5%, 50% и 95%-ной обеспеченности и вычислить месячные расходы характер-

ных расчетных лет по моделям характерных реальных лет, пользуясь формулой

$$Q_{M,P} = K_M \cdot Q_P = \frac{Q_M}{Q_{\text{ср}}} \cdot Q_P, \quad (25)$$

где $Q_{M,P}$ — средние месячные расходы расчетных лет обеспеченности $P\%$; Q_P — средние годовые расходы обеспеченности 5, 50 и 95%; $Q_{\text{ср}}$ — наблюдаемые средние годовые расходы характерных лет; Q_M — значения наблюдаемых средних месячных расходов характерных лет; K_M — относительные значения месячных расходов характерных лет, внутригодовое распределение которых приняты в качестве расчетных моделей.

Вычисления свести в таблицу по форме табл. 12.

Для контроля вычислений пользуются уравнениями:

$$\sum_{i=1}^{XII} K_M = 12 \text{ (или } 100\%);$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{XII} Q_{M,P}}{12} = Q_P. \quad (26)$$

Кроме того, по ежедневным расходам воды характерных по водности лет, выбранных в качестве моделей для расчета внутригодового распределения стока, построить кривые продолжительности стояния (кривые обеспеченности) суточных расходов и вычислить коэффициенты естественной зарегулированности стока внутри года по формуле

$$\varphi = \frac{\omega}{\Omega}, \quad (27)$$

где ω — площадь нижней части кривой продолжительности стояния суточных расходов, ограниченная сверху средним годовым расходом; Ω — площадь, ограниченная кривой продолжительности стояния суточных расходов и осями координат.

Эту часть работы необходимо выполнить в следующем порядке:

- 1) по таблицам ежедневных расходов вычислить амплитуды колебания суточных расходов каждого года ($A = Q_{\text{max}} - Q_{\text{min}}$);
- 2) в пределах установленной амплитуды разбить суточные расходы на 15—20 интервалов (в зоне часто повторяющихся низких расходов принимаются меньшие интервалы);
- 3) подсчитать число расходов (число случаев), повторяющихся в пределах каждого интервала и последовательно просуммировать повторяемость, выразив ее в процентах от 365 дней в году (расчеты свести в таблицу по форме табл. 13);

Таблица 13

Частота и суммарная повторяемость расходов в заданных интервалах

Интервалы	Частота, m	Σ	
		m	%

4) построить кривые обеспеченности, которые проводятся по концам нижних пределов интервалов. Конечные ординаты соответствуют среднесуточным максимальным и минимальным расходам;

5) определить коэффициенты естественной зарегулированности. Все вычисления и построения сопровождаются пояснительным текстом.

ЗАДАНИЕ 5

АНАЛИЗ И РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ

Контрольные вопросы

1. Практическое значение минимальных расходов воды на больших и малых реках при гидрологических расчетах.
2. Что понимается под термином «меженный период», как он устанавливается и когда наблюдается?
3. Каково влияние физико-географических факторов на формирование минимального стока?
4. Значение предельных площадей водосборов пересыхающих и перемерзающих рек в различных географических зонах.
5. Как произвести расчет минимального стока при отсутствии или недостаточности гидрометрических наблюдений (карты, эмпирические формулы, метод аналогии)? Достоинства и недостатки каждого метода.
6. Как проводится расчет минимального стока по «Указаниям по определению расчетных минимальных расходов воды рек при строительном проектировании. СН 346-66»? Особенности расчета минимального стока для малых и средних водосборов.

Порядок выполнения

Произвести анализ и расчет минимального стока расчетной реки . . . , пункт . . . :

- 1) по данным непосредственных наблюдений за n лет;

- 2) при условии отсутствия наблюдений — по формулам;
3) по строительным нормам СН 346-66, СН 435-72.

1. Для анализа и расчета среднегодовых величин минимального стока по данным наблюдений необходимо оценить точность подсчета минимального стока за зимний и летний периоды, отметить основные факторы, влияющие на его формирование, и перейти к характеристике исходных данных по минимальному стоку в расчетном створе. Для этого из таблиц характерных и ежедневных расходов произвести выборку минимальных средних месячных и суточных расходов за все годы наблюдений в расчетном створе, отдельно для зимнего и летнего периодов, вычислить их модули и средние значения, выбрать наибольшие и наименьшие величины за период наблюдений (по форме табл. 14).

Таблица 14

Значения минимального стока р. . . . п. . . . ($F = \text{км}^2$)
за период наблюдений 19 — 19 гг.

№ п/п	Годы	Зимний период				Летний период				Q _{ср. год}
		Q _{min} , м³/с		M _{min} , л/с		Q _{min} , м³/с		M _{min} , л/с		
		мес.	сут.	мес.	сут.	мес.	сут.	мес.	сут.	
1										
2										
...										
n										
Средний										
Наименьший										
Наибольший										

По материалам табл. 14 дать анализ и описание характеристик минимального стока, построить графики связи суточных и средних месячных модулей минимального стока за все годы наблюдений отдельно для зимнего и летнего периодов и оценить полученные связи.

С целью более надежного обоснования минимальных расходов в расчетном створе выполнить анализ минимального стока по ряду рек района, включая и сравнительно малые бассейны (табл. 15).

По материалам табл. 15 строится график связи $M_{\text{min}} = f(F)$ отдельно для зимнего и летнего периодов.

Таблица 15

Модули минимального стока в л/с с 1 км² (средние — M_0 и наименьшие — $M_{\min}$) некоторых рек бассейна реки за период наблюдений

Река-пункт	F, км ²	Период наблюдений	Число лет наблюдений	Зимний период			Летний период			Q ср. год
				$M_{\text{мес.}}$	$M_{\text{сут.}}$	M_0	$M_{\text{мес.}}$	$M_{\text{сут.}}$	M_0	

Примечание. Наименьшие месячные или суточные расходы определяются как наименьшие средние месячные или суточные расходы за все годы наблюдений за зимний и летний периоды.

При необходимости расчета обеспеченных величин минимального стока используются известные методы математической статистики — определяются параметры кривой обеспеченности $Q_{\min, 0}$, C_v , C_s , строится эмпирическая и теоретическая кривые обеспеченности и вычисляется $Q_{\min, p} = K_p \cdot Q_{\min, 0}$.

2. Для определения средних минимальных расходов при условии отсутствия данных наблюдений можно воспользоваться существующими картами распределения минимального стока и региональными эмпирическими формулами. По карте распределения минимального стока значение минимального расхода (модуля) определяется для центра тяжести бассейна по интерполяции между соседними изолиниями. В случае, если бассейн пересекается несколькими изолиниями, искомая величина определяется как средневзвешенная по бассейну

$$M_{\min} = \frac{M_1 f_1 + M_2 f_2 + \dots + M_i f_i}{f_1 + f_2 + \dots + f_i}, \quad (28)$$

где M_i — среднее значение минимального стока двух соседних изолиний; f_i — площадь, заключенная между изолиниями.

Карты рекомендуется использовать для средних бассейнов с площадями от 1500—2000 до 100 000 км² в зависимости от географической зоны.

Кроме карт изолиний расчет минимального стока может быть произведен по одной из эмпирических формул, рекомендованной для данного района.

Формула Н. Д. Антонова

$$M_{\min} = M_0^n (a \cdot F^{n_1} - f), \quad (29)$$

где $M_{\min}$ — средний многолетний модуль минимального стока (суточный); M_0 — норма годового стока; F — площадь водосбора; f — параметр, характеризующий верхний предел площадей водосбора, при котором минимальный модуль стока в данном районе равен нулю; $n=1,30$ — для летнего и $n=0,82$ — для зимнего периодов; $n_1=0,035$; $a=0,53$ для летнего и $a=0,63$ для зимнего периодов; $f=0,55 \div 0,68$ — для летнего и $f=0,50 \div 0,75$ — для зимнего периодов.

Формула М. Э. Шевелева

$$M_{\min} = 0,155 F^{0,034} M_0^{0,94}, \quad (30)$$

где M_0 — норма годового стока; $M_{\min}$ — модуль среднемесячного минимального стока.

3. В качестве официальных рекомендаций по расчетам минимального стока на реках СССР следует привести «Указания по определению расчетных минимальных расходов воды рек при строительстве проектировании» [10, 12, 13]. Они включают расчет минимального стока для неизученных рек территории Советского Союза, которая в зависимости от характера формирования минимального стока разбита на 145 районов, отдельно для зимнего и летнего периодов.

Согласно «Указаниям», сначала определяются для малых рек средние многолетние значения 30-дневных (месячных) модулей стока по формуле

$$\bar{Q}_{\min} = a (F + c)^n, \quad (31)$$

где a , n и c — параметры, полученные для каждого из выделенных районов.

Для больших бассейнов величина минимального 30-дневного стока определяется по картам изолиний. Деление рек на малые и большие условное и зависит от района. Затем по карте значений C_v устанавливается коэффициент вариации минимального стока и по «Указаниям» [10, 12] назначается отношение $\frac{C_s}{C_v}$.

Средний за 30 дней минимальный модуль или расход заданной обеспеченности вычисляется по равенству

$$Q_{\min, P} = K_P Q_{\min, 0},$$

где $K_P = \Phi(C_v, C_s)$.

Для получения минимального среднесуточного стока используется формула

$$M_{\text{сут. min}} = a M_{\text{мес. min}} - b, \quad (32)$$

где a и b — параметры, определенные по таблицам «Указаний» в зависимости от района.

Значения минимальных расходов (модулей), полученных по материалам наблюдений и вычисленных по формулам и «Указаниям», сравниваются между собой (табл. 16) и анализируются. При анализе необходимо остановиться на возможных причинах расхождения.

Таблица 16

Значения минимальных расходов (модулей)
стока расчетной р. . . . в створе . . .

Способ вычисления	Зимний период		Летний период	
	суточный	месячный	суточный	месячный
По материалам наблюдений n =лет				
По формуле Н. Д. Антонова				
По формуле М. Э. Шевелева				
По СН 346-66 По СН 435-72 По карте По формуле				

ЗАДАНИЕ 6

АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ТВЕРДОГО СТОКА

Контрольные вопросы

1. Перечислить основные факторы твердого стока.
2. Каково значение твердого стока в гидрологических расчетах?
3. Какие известны основные методы расчета твердого стока?
4. Что представляют собой карты мутности, их особенности?
5. Какие существуют способы измерения твердого стока на реках?

Порядок выполнения

Произвести анализ и расчет твердого стока в расчетном створе реки . . . п. . . .

- 1) по данным наблюдений при длинном ряде наблюдений $n \geq 15-20$ лет и при коротком ряде наблюдений;
- 2) при отсутствии наблюдений.

1. Характеристика и анализ твердого стока расчетной реки производится по данным наблюдений на ней за n лет. Для этого выписать в таблицу среднемесячные и годовые расходы взвешенных наносов (табл. 17).

При $n \geq 15-20$ лет среднемноголетний расход вычисляется по формуле

$$R_{0_n} = \frac{\sum R_i}{n} \text{ кг/с,} \quad (33)$$

где R_i — средние расходы за год, месяц; n — число лет наблюдений.

При $n < 15-20$ лет по данным наблюдений строится график связи средних годовых расходов твердого и жидкого стока за годы одновременных наблюдений $R_{\text{ср. год}} = f(Q_{\text{ср. год}})$.

Норма твердого стока в случае короткого ряда вычисляется по уравнению

$$R_{0_N} = \frac{Q_{0_N}}{Q_{0_n}} R_{0_n} \text{ кг/с,} \quad (34)$$

где Q_{0_N} — норма годового стока $\text{м}^3/\text{с}$ с учетом длинного ряда наблюдений; Q_{0_n} , R_{0_n} — средние значения расходов и наносов за короткий период наблюдений.

Объем наносов W_n может быть определен по формуле

$$W_n = \frac{R_{0_N} \cdot 31,5 \cdot 10^3}{\beta} \text{ м}^3, \quad (35)$$

где β — объемный вес наносов, равный от 0,5—0,7 $\text{т}/\text{м}^3$ — для илистых наносов в первые годы отложений до 1,0—1,5 $\text{т}/\text{м}^3$ — для песчаных или илистых уплотненных наносов, и в расчетах может быть принят 1,2—1,3 $\text{т}/\text{м}^3$.

2. При $n < 5-6$ лет или полном отсутствии наблюдений над твердым стоком средняя многолетняя мутность воды в расчетном створе ρ_0 $\text{г}/\text{м}^3$ может быть установлена: 1) по реке-аналогу, для которой выполняются изложенные выше расчеты; 2) по кар-

там зонального распределения мутности. Норма твердого стока в этом случае определяется по формуле

$$R_{0N} = \frac{\rho_0 Q_{0N}}{10^3} \text{ кг/с,} \quad (36)$$

где Q_{0N} — норма стока по карте К. П. Воскресенского; ρ_0 — норма мутности, установленная по карте Г. И. Шамова или по реке-аналогу.

Таблица 17

Внутригодовое распределение мутности (г/м³)
за период наблюдений 19...19... гг. Река Пункт ...

Р	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	

Привести внутригодовое распределение мутности (среднемесячные значения) по расчетному створу по данным наблюдений или с учетом реки-аналога.

Полученные значения нормы твердого стока в расчетном створе подлежат сравнению и анализу, и более надежная величина рекомендуется для последующих расчетов.

ЗАДАНИЕ 7

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ТАЛЫХ И ДОЖДЕВЫХ ВОД ЗАДАНЫХ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ ПО МАТЕРИАЛАМ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Контрольные вопросы

1. Что понимается под максимальными годовыми расходами воды, которые используются в расчетах?
2. Практическое значение максимальных расходов воды рек и малых водотоков.
3. Как определяются ежегодные максимумы по гидрометрическим измерениям и почему исходные данные по максимальным расходам менее точные, чем по средним годовым?
4. Нормативы расчетных обеспеченностей максимальных расходов для разных типов и классов гидротехнических сооружений.

5. Какова должна быть продолжительность ряда наблюдений над максимальными расходами, чтобы производить необходимые расчеты?

6. Что называется гарантийной поправкой к максимальным расходам, ее назначение и как она вычисляется?

7. Что понимается под историческими максимальными расходами и как они используются в соответствующих расчетах?

Порядок выполнения

1. Для расчетной реки (створа) выписать срочные значения максимальных расходов талых и дождевых вод (отдельно) за каждый год наблюдений. Привести сведения о точности определения максимальных расходов, опубликованных в кадастровых материалах. Сравнить между собою максимумы талых и дождевых вод и принять для последующих расчетов те, которые являются более высокими. Кроме того, сравнить срочные и среднесуточные максимумы талых и дождевых вод и установить их соотношение, для чего построить график связи срочных и среднесуточных максимальных расходов. Сведения о максимальных расходах и сравнения их поместить в табл. 18.

Таблица 18

Значения максимальных расходов талых и дождевых вод р. п., $Q_p =$ за период наблюдений 19 — 19 гг.

Год	Весенний сток			Дождевой сток			$\frac{Q}{Q_d}$
	Максимальный расход, м³/с		Дата	Максимальный расход, м³/с		Дата	
	срочный	средне-суточный		срочный	средне-суточный		

2. По принятым для расчетов срочным максимумам талых или дождевых вод вычислить статистические параметры кривой обеспеченности $Q_{\max_n}$, C_v , C_s и их ошибки — $\sigma_{Q_{\max}}$, σ_{C_v} , σ_{C_s} , а также природную обеспеченность $P\%$ членов убывающего ряда по формуле

$$P = \frac{m}{n+1} 100\% . \quad (37)$$

Расчеты поместить в таблицу (см. табл. 1).

3. На клетчатке вероятностей построить совмещенные эмпирическую и теоретические кривые обеспеченности. Малоустойчивый параметр теоретической кривой обеспеченности C_s установить подбором, исходя из условия хорошего соответствия теоретической кривой наблюдаемым данным особенно в верхней ее части. Для максимальных расходов талых и смешанных вод рекомендуется принимать $C_s = 2C_v \div 3C_v$, для дождевых паводков $C_s = 4C_v$. Провести анализ расположения точек наблюдаемых расходов относительно теоретической кривой, выписав годы наблюдения у трех верхних точек.

4. Пользуясь принятой к расчету теоретической кривой обеспеченности с ее параметрами ($Q_{\max}$, C_v и C_s), вычислить максимальные расходы обеспеченностью $P = 0,1; 1; 5; 10; 20\%$ по равенству $Q_p = K_p \cdot Q_{\max}$. Вычисления Q_p поместить в табл. 18.

5. К максимальным расходам Q_p вычислить гарантийные поправки по формуле

$$\Delta Q_{\max p} = \frac{\alpha E_p}{\sqrt{n}} \cdot Q_{\max p}, \quad (38)$$

где $Q_{\max p}$ — максимальный расход заданной обеспеченности; $\Delta Q_{\max p}$ — гарантийная поправка; E_p — относительная среднеквадратическая ошибка расхода $Q_{\max p}$ при $n=1$, определяемая по графику (рис. 7.1, [1]) в зависимости от расчетной обеспеченности P и коэффициента вариации C_v ; α — коэффициент запаса, характеризующий гидрологическую изученность реки, принимаемый равным от 0,7 для хорошо изученных рек, до 1,5 для малоизученных рек.

Гарантийная поправка прибавляется к расчетному расходу воды

$$Q_{\max p}^* = Q_{\max p} + \Delta Q_{\max p}.$$

6. С учетом гарантийной поправки $\Delta Q_{\max p}$ построить верхнюю ветвь кривой обеспеченности в диапазоне 0,1—10% обеспеченности. Установить, не выходят ли эмпирические точки за пределы кривой обеспеченности с учетом гарантийной поправки.

7. Параметры кривых обеспеченности максимальных расходов могут быть уточнены и приведены к многолетним значениям, если имеются сведения о достаточно надежных исторических максимумах, относительно которых известно, что они являются наибольшими за $N > n$ лет. Уточненные характеристики с учетом $Q_{\max}$ вычисляются по формулам С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля в случае, когда:

а) экстремальный расход Q_N , установленный по историческим данным, не входит в ряд систематических наблюдений за n лет

$$\bar{Q}' = \frac{1}{N} \left(Q_N + \frac{N-1}{n} \sum_1^n Q_i \right), \quad (39)$$

$$C'_v = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[\left(\frac{Q_N}{\bar{Q}'} - 1 \right)^2 + \frac{N-1}{n} \sum_1^n \left(\frac{Q_i}{\bar{Q}'} - 1 \right)^2 \right]}; \quad (40)$$

б) экстремальный расход Q_N входит в состав ряда систематических наблюдений за n лет, а по историческим данным установлено, что на протяжении N лет этот расход не был превышен:

$$\bar{Q}' = \frac{1}{N} \left(Q_N + \frac{N-1}{n} \sum_1^n Q_i \right), \quad (41)$$

$$C'_v = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left[\left(\frac{Q_N}{\bar{Q}'} - 1 \right)^2 + \frac{N-1}{n-1} \sum_1^{n-1} \left(\frac{Q_i}{\bar{Q}'} - 1 \right)^2 \right]}. \quad (42)$$

Эмпирическая обеспеченность экстремального расхода определяется по формуле

$$P_N = \frac{1-0,3}{N+0,4} \cdot 100 \%. \quad (43)$$

В случае, когда исторический максимум Q_N входит в состав короткого ряда наблюдений n лет его модульный коэффициент значительно превышает второй по счету модульный коэффициент убывающего ряда и на кривой обеспеченности точка этого расхода лежит не согласно и отклоняется вправо от эмпирической и теоретической кривых. Повторяемость такого расхода можно приблизительно установить по опорным створам рек-аналогов с длинными рядами наблюдений, так как максимум этого года оказывается наиболее высоким и за N лет наблюдений в опорном створе. Установив таким образом N , обеспеченность $Q_{\max N}$ вычисляется относительно N и точка его может быть смещена по оси P влево, приблизившись к теоретической кривой.

Если в составе ряда систематических наблюдений нет выдающегося исторического максимума — $Q_{\max N}$, а при решении учебных задач установить такой расход по следам, опросам и другим источникам невозможно, все же приближенный учет его возможен. Делается это по рекам-аналогам. Для этого по створам с длинным рядом наблюдений N лет вычисляется модульный коэффициент наи-

большого максимума $K_a = \frac{Q_{\max Na}}{Q_{\max}}$. Значение этого коэффициен-

та переносится на расчетный створ и исторический максимум в расчетном створе с указанием года его прохождения вычисляется по равенству $Q_{\max N} = K_{\max Na} \cdot Q_{0\max}$, где $Q_{0\max}$ — среднее значение максимальных расходов за n лет наблюдений в расчетном створе.

По уточненным параметрам по формулам (40) и (42) строятся новые кривые обеспеченности. Эмпирическая обеспеченность Q_N вычисляется относительно N , а всех остальных расходов относительно $n-1$ или n лет.

По карте приложение XLIV [1] можно установить годы, в которые наблюдались выдающиеся максимумы на реках различных районов Советского Союза.

ЗАДАНИЕ 8

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ПРИ ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Контрольные вопросы

1. Основные типы (группы) расчетных формул максимальных расходов талых и дождевых вод и требования, предъявляемые к расчетным формулам.

2. Обоснование редукционных формул и формул предельной интенсивности, вытекающие из генетической теории формирования максимальных расходов.

3. Сущность, размерность и способы контроля параметров редукционных формул n , A и k_0 .

4. Способы определения интенсивности снеготаяния и водоотдачи.

5. Почему для расчетов максимальных расходов дождевых паводков по формулам используется наибольшее (предельное) значение средней интенсивности дождя за время, равное времени добегания?

6. Сущность метода аналогии при определении максимальных расходов в неизученных районах и его преимущества.

7. Метод географической интерполяции и экстраполяции параметров максимального стока.

8. Значение существующих нормативных документов для расчетов максимальных расходов и их недостатки.

Расчетная часть и порядок выполнения

Определить максимальные расходы воды расчетной реки . . . в створе . . . обеспеченностью 1; 5; 10% при условии отсутствия наблюдений — по формулам. Расчеты произвести отдельно для максимальных расходов талых и дождевых вод.

1. Расчет максимальных расходов талых вод

1. По «Указаниям по определению расчетных гидрологических характеристик. СН 435-72» [12]. Расчетный максимальный расход талых вод равнинных и горных рек с весенне-летним половодьем определяется по формуле

$$Q_p = q_p \cdot F = \frac{\kappa_0 \cdot h_p \cdot \mu}{(F+1)^n} \delta \delta_2 F. \quad (43)$$

Здесь Q_p — максимальный расход воды вероятностью превышения $P\%$, м³/с; q_p — модуль максимального стока той же обеспеченности $P\%$, м/с³ с км²; h_p — слой суммарного весеннего стока (без срезки грунтового питания) той же вероятности превышения (мм) определяется по средней многолетней величине и коэффициенту вариации слоя весеннего стока по картам (приложения 3 и 4 «Указаний» [12] с учетом рекомендуемых к ним поправок на влияние местных факторов; F — площадь водосбора до расчетного створа, км² (до 20 000 км² на Европейской и до 50 000 км² на Азиатской территории СССР); κ_0 — параметр, характеризующий дружность половодья на малых реках, определяется по табл. 3 и 4 «Указаний» [12] с учетом природной зоны и географического района; n — показатель степени редукции отношения $\frac{q_p}{h_p}$ по F , определяется по тем же табл. 3 и 4;

δ — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды рек, зарегулированных озерами (δ_1) и водохранилищами (δ_1') (см. раздел II задания 8); δ_2 — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды в залесенных и заболоченных бассейнах, определяется по формуле

$$\delta_2 = 1 - 0,8 \lg (1 + 0,05 f_a + 0,1 f_b),$$

(где f_a — степень залесенности бассейна, %; f_b — степень заболоченности, %); μ — коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды, определяется по табл. 7 «Руководства» [13].

2. По редукционной формуле Д. Л. Соколовского

$$Q_{\max_p} = q_{\max_p} \cdot F = \frac{\kappa A_p F}{(F+1)^{0,25}} \delta = \kappa A_p F^{0,75} \delta, \quad (44)$$

где $Q_{\max_p}$ и $q_{\max_p}$ — срочный максимальный расход и его модуль обеспеченностью $P\%$; A_p — максимальный модуль элементарного стока той же обеспеченности $P\%$, определяется приближенно по картам изолиний для ЕТС (рис. 7.11 и 7.12 пособия [1]) или мето-

дом гидрологической аналогии по данным наблюдений на реках-аналогах по формуле

$$A_p = \frac{Q_{\max pa}}{\kappa F_a^{0,75} \delta_a} \quad (45)$$

(индекс «а» означает, что характеристика относится к реке-аналогу); F — площадь водосбора в расчетном створе, км²; κ — коэффициент размерности, равный единице при выражении A_p в м³/с с км² и 0,278 при выражении A_p в мм/ч; δ — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода за счет влияния озер, болот и леса, определяется по формуле

$$\delta = 1,0 - 0,6 \lg (1 + f_{oz} + 0,2 f_b + 0,05 f_l),$$

где f_{oz} , f_b и f_l — площади озер, болот и леса в % от общей площади водосбора; n — показатель степени редукции, в среднем равен 0,25.

II. Расчет максимальных расходов дождевых паводков

1. По СН 435-72 [12, 13] максимальные расходы воды дождевых паводков Q_p в зависимости от площади водосбора реки определяются по одной из двух формул: эмпирической редукционной или формуле предельной интенсивности стока.

Границы применимости формул в различных физико-географических зонах определяются по табл. 5 «Указаний» [12].

Эмпирическая редукционная формула имеет вид

$$Q_p = q_p F = q_{200} \left(\frac{200}{F} \right)^n \lambda_p \delta_1 \delta_2' F. \quad (46)$$

Здесь q_{200} — модуль максимального расхода воды вероятностного превышения 1%, приведенный к площади водосбора 200 км², определяется по карте приложения 5 [13] как средневзвешенная величина для площади водосбора F ; n — показатель степени редукции модуля максимального расхода определяется по карте приложения 6 [13]; λ_p — переходный коэффициент от вероятности превышения 1% к другой вероятности, определяется по табл. 15 «Руководства» [13]; δ_1 — коэффициент, учитывающий зарегулированность максимального расхода проточными озерами, определяется по формуле

$$\delta_1 = \frac{1}{1 + c f_{oz}'},$$

(где f_{oz}' — средневзвешенная озерность водосбора, при отсутствии сведений о ней принимается величина относительной озерности f_{oz} ;

c — параметр, величина которого зависит от среднего слоя половодья (при $h_0 \geq 100$ мм $c=0,2$; при $h_0=100 \div 50$ мм $c=0,2 \div 0,3$; при $h_0=50 \div 20$ мм $c=0,3 \div 0,4$; при $h_0 < 20$ мм $c=0,4$); δ'_2 — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода заболоченностью водосбора; определяется по формуле

$$\delta'_2 = 1 - 0,8 \lg(1 + 0,1 f_6).$$

2. По формуле предельной интенсивности стока

$$Q_p = A_{1\%} \cdot \varphi \cdot H_{1\%} \cdot \lambda_p \cdot \delta_1 \cdot F, \quad (47)$$

где $H_{1\%}$ — суточный слой осадков вероятностью превышения $P=1\%$, определяется по карте приложения 3 [13]; φ — коэффициент паводочного стока, определяется по табл. 7 [13]; $A_{1\%}$ — максимальный модуль стока обеспеченностью $P=1\%$, выраженный в долях от произведения $\varphi \cdot H_{1\%}$ при $\delta_1=1,0$, определяется по табл. 8 [13] в зависимости от гидроморфометрической характеристики русла Φ_p , продолжительности склонового добега τ_0 и типов кривых редукции осадков приложения 9 [13]. Все эти характеристики определяются согласно рекомендаций по формулам и таблицам [13].

3. По формуле Д. Л. Соколовского. Расчетная формула максимальных расходов воды дождевых паводков относится к объемным формулам, связывающим максимальный расход с объемом и формой гидрографа паводка и имеет вид

$$Q_{\max p} = \frac{0,28 (H_{T_p} - H_0) \alpha_p F}{t_n} f \delta \delta_1 + Q_{\text{гр}}, \quad (48)$$

где H_{T_p} — слой осадков за время расчетного дождя продолжительностью T час в мм; H_0 — слой начальных потерь в мм; α_p — коэффициент дождевого стока; F — площадь водосбора, км²; t_n — продолжительность подъема паводка в часах; f — коэффициент формы паводка; δ — коэффициент, учитывающий аккумулирующее влияние озер, болот и лесов; δ_1 — коэффициент учета руслового регулирования; $Q_{\text{гр}}$ — расход грунтового питания, предшествующий паводку.

Все расчетные параметры определяются по таблицам и формулам согласно рекомендаций и находятся в книге К. П. Клибашева и И. Ф. Горошкова «Гидрологические расчеты» [1].

III. Рассчитать $Q_{\max 1\%}$ по одной из региональных формул для района, где расположен расчетный бассейн [1].

IV. В результате проделанных расчетов максимальные расходы талых и дождевых вод обеспеченностью 1; 5; 10% сопоставляются

с соответствующими расходами, вычисленными по кривой обеспеченности в задании 7. Результаты заносятся в табл. 19.

Таблица 19

Сводные данные результатов расчета максимальных расходов воды при отсутствии данных наблюдений

Метод расчета	Максимальные расходы					
	талые			дождевые		
	1%	5%	наблюденный	1%	5%	наблюденный
По кривой обеспеченности	+	+	+	+	+	+
По СН 435-72	+	+	+	+	+	+
По редуцированной формуле Д. Л. Соколовского	+	+	+	—	—	—
По объемной формуле	—	—	—	+	+	+
Региональная формула	+	—	—	+	—	—

Максимальные 1% расходы сравниваются с наибольшими наблюдаемыми максимумами.

ЗАДАНИЕ 9

ПОСТРОЕНИЕ ГИДРОГРАФОВ ВЕСЕННИХ ПОЛОВОДИЙ И ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ

Контрольные вопросы

1. Типы весенних половодий и дождевых паводков на реках Советского Союза по условиям питания, форме гидрографов и характеру стекания и добегания.
2. Какое практическое значение имеют гидрографы половодий и паводков?
3. Основные характеристики расчетных гидрографов.
4. Методы расчетов гидрографов весенних половодий и дождевых паводков, их преимущества и недостатки.
5. Какие из наблюдаемых гидрографов принимаются в качестве расчетных моделей?
6. Обеспеченность основных характеристик гидрографов для гидротехнического проектирования.

Расчетная часть

Вычислить ординаты и построить гидрографы весеннего половодья или дождевых паводков 1% обеспеченности в расчетном створе.

ре реки, пользуясь тремя методами: 1) по моделям наблюдаемого гидрографа; 2) по типовому уравнению; 3) по методу изохрон.

При выборе гидрографов весеннего половодья или дождевых паводков для их построения по моделям и типовому уравнению исходить из преобладающего значения максимальных расходов 1%.

Строятся гидрографы по среднесуточным расходам. Среднесуточный максимум $\tilde{Q}_{\max}$ вычисляется путем деления расчетного мгновенного максимума $Q_{\max}$ на коэффициент κ_{τ} . Значение κ_{τ} устанавливается по табл. 22 «Руководства» [13] или по связи $Q_{\max}$ и $\tilde{Q}_{\max}$, построенной за годы наблюдений на данной реке ($\kappa_{\tau} = \frac{Q_{\max}}{\tilde{Q}_{\max}}$).

Порядок выполнения

1. *Построение расчетных гидрографов по моделям наблюдаемых гидрографов.* При выборе модели из наблюдаемых гидрографов необходимо учитывать, что расчетный гидрограф по своему очертанию, элементам и характеристикам должен быть наиболее неблагоприятным для работы проектируемого сооружения и трансформации максимального расхода. Поэтому в качестве модели выбирается гидрограф с наиболее высокими максимальным расходом и объемом, близкими к их расчетным обеспеченным значениям.

С целью выбора расчетной модели необходимо построить и проанализировать связь срочных или среднесуточных максимальных расходов и слоев или объемов наблюдаемых паводков в расчетном

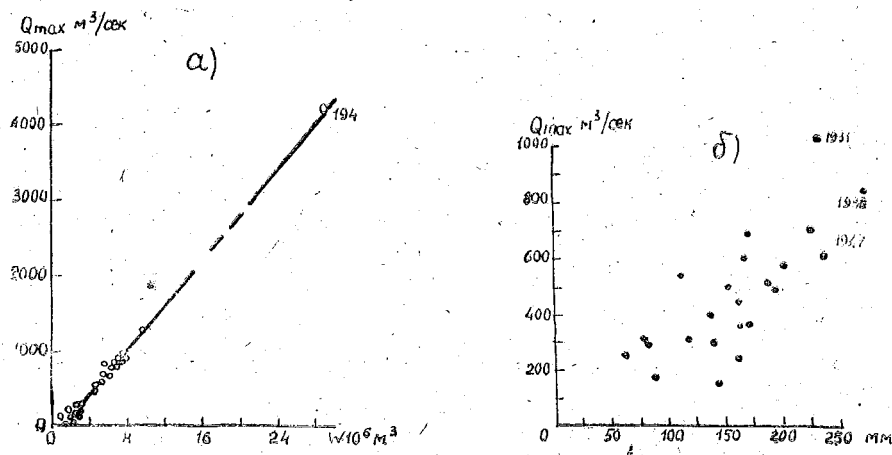


Рис. 5. Связь максимальных расходов и объемов (а) или слоев (б):
а) р. Тобол у п. Кустанай; б) р. Межа у п. Таборище.

створе за n лет (рис. 5). Если по расчетному створу нет вычисленных слоев, их можно заменить суммами среднесуточных расходов за время паводка (половодья), или такое построение выполнить по реке-аналогу. На графике выписать годы у 5—6 точек, занимающих более высокое положение по $Q_{\max}$ и $W(h)$.

Если в верхней части графика $Q_{\max} = f(W; h)$ однозначная (рис. 5а), то за расчетную модель принимается гидрограф года с наиболее высокими $Q_{\max}$ и W , которые имеют равные обеспеченности ($P_{Q_{\max}} \cong P_W$). Если же на графике $Q_{\max} = f(W; h)$ в зоне их высоких величин значительный разброс точек (рис. 5б) и наибольшему $Q_{\max}$ не соответствует наибольший $W(h)$, т. е. $P_{Q_{\max}} \neq P_W$, то выбираются две расчетные модели: одна — гидрограф с наибольшим максимумом, вторая — гидрограф года с наибольшим объемом. Окончательный выбор расчетного гидрографа из двух представленных определяется конкретными характеристиками водохранилища — принимается тот, у которого при данном водохранилище окажется более высокий трансформированный максимум.

Текущие ординаты (среднесуточные расходы) расчетного гидрографа вычисляются путем умножения текущих среднесуточных расходов гидрографа — модели на коэффициент

$$K_1 = \frac{\tilde{Q}_{\max p}}{\tilde{Q}_{\max m}} \cong \frac{Q_{\max p}}{Q_{\max m}} \quad (49)$$

или

$$K_2 = \frac{W_p}{W_m} = \frac{h_p}{h_m}, \quad (50)$$

где $\tilde{Q}_{\max p}$, $Q_{\max p}$, W_p , h_p — расчетные среднесуточный и срочный максимумы, объем и слой данной обеспеченности $P\%$; $\tilde{Q}_{\max m}$, $Q_{\max m}$, W_m , h_m — соответствующие характеристики наблюдаемого гидрографа-модели. Продолжительность расчетного гидрографа в этом случае можно принимать по модели.

Если модель для расчетного гидрографа переносится с реки (створа) аналога, при существенной разнице размеров водосборных площадей створа и аналога, то учитывается не только разница максимальных расходов или объемов расчетного гидрографа и модели, но и разница продолжительности половодья (паводка). Пересчет координат (Q_i и t_i) модели в координаты расчетного гидрографа в этом случае выполняется по соотношениям:

$$Q_{i_p} = \frac{Q_{i_m}}{\tilde{Q}_{\max_m}} \cdot \tilde{Q}_{\max_p}, \quad (51)$$

$$t_i = t_{i_m} \frac{\tilde{q}_{\max_m}}{h_m} \cdot \frac{h_p}{\tilde{q}_{\max_p}}, \quad (52)$$

где Q_{i_m} и t_{i_m} , Q_{i_p} и t_i — текущие координаты модели и расчетного гидрографа (Q_i в м³/с, t_i в сутках); $\tilde{Q}_{\max_p}$, $\tilde{q}_{\max_p}$, h — соответственно максимальные расходы; модули и слои стока (м³/с с км²; мм).

2. *Построение гидрографа по типовому уравнению.* В случае отсутствия материалов наблюдений и достаточно надежных аналогов для выбора гидрографа-модели одновершинный расчетный гидрограф может быть построен по типовому уравнению вида

$$y = 10^{-a \frac{(1-x)^2}{x}}, \quad (53)$$

где $y = \frac{Q_i}{\tilde{Q}_p}$ — ординаты расчетного гидрографа, выраженные в долях от среднесуточного максимального расхода заданной обеспеченности; $x = \frac{t_i}{t_n}$ — абсциссы расчетного гидрографа, выраженные в долях от условной продолжительности подъема половодья t_n ; a — параметр, зависящий от коэффициентов формы (λ) и несимметричности (K_s) гидрографа, которые определяются по характеристикам высоких половодий (паводков) рек-аналогов

$$\lambda = \frac{\tilde{q}_{\max_a} t_{n_a}}{0,0116 h_a},$$

где $\tilde{q}_{\max_a}$ — модуль среднесуточного максимума; t_{n_a} — продолжительность подъема половодья; h_{n_a} — слой (объем) стока за период подъема паводка; h_a — суммарный слой (объем) стока паводка.

При вычислении h_{n_a} — максимальная ордината учитывается в половинном значении. Значения параметра $a = \psi(K_s) = f(\lambda)$ приводятся в табл. 8.7 стр. 363 [1]. Условная продолжительность подъема t_n (в сутках) расчетного гидрографа вычисляется по формуле

$$t_n = \frac{0,0116 \, h_p}{\tilde{q}_{\max p}} \cdot \lambda, \quad (54)$$

где h_p , $\tilde{q}_{\max p}$ и λ имеют прежние обозначения.

Относительные координаты расчетного гидрографа $x_i = \frac{t_i}{t_n}$ и $y_i = \frac{Q_i}{Q_p}$, зависящие от установленных коэффициентов несимметричности K_s и формы паводков λ , находятся по таблице приложения 11 (Руководства) [13].

Абсолютные значения K_0 координат расчетного гидрографа вычисляются по равенствам: ординат $\tilde{Q}_{i_p} = y_i \cdot \tilde{Q}_{\max p}$; абсцисс $t_i = x_i \cdot t_p$.

Строится расчетный гидрограф по полученным значениям t_i в сутках и среднесуточным расходам $\tilde{Q}_{i_p}$ м³/с.

3. Построение гидрографов генетическим методом (методом изохрон). Для этого необходимо иметь следующие исходные данные:

1) крупномасштабный план речного бассейна площадью F км² и длиной L км в горизонталях (в учебных целях можно взять малый бассейн с $F \leq 50-100$ км²);

2) ход дождя или водоотдачи при снеготаянии с продолжительностью t_v (часов, минут) и суммарным слоем H мм;

3) при расчетах по ходу дождя необходимо знать потери, которые можно характеризовать объемным коэффициентом стока $\alpha = 0,75-0,50$ — в зависимости от района и характера почвогрунтов;

4) расчетные скорости стекания со склонов $v_{\text{скл}}$ и добегания по русловой сети средние за время паводка. При отсутствии надежных сведений о скоростях можно принять значения русловых скоростей $v_p = 1,0$ м/с, склоновых — $v_{\text{скл}} = 0,25$ м/с.

Ход выполнения

1. Пользуясь топографической картой, оконтурить водосбор относительно расчетного створа и определить его площадь F км² и длину водотока L км, которая принимается как расстояние от наиболее удаленной точки бассейна по пути добегания поверхностного стока.

2. Вычислить время добегания $\tau = \frac{L}{3,6 \, v}$ час или $\tau = 16,7 \frac{L}{v}$ мин.

3. Установить расчетный интервал времени τ_0 , исходя из необходимости, чтобы число интервалов по ходу дождя (водоотдачи) и добеганию было не менее $5 \div 8$, т. е. $\frac{t_v}{\tau_0} \geq 5 \div 8$ и $\frac{\tau}{\tau_0} \geq 5 \div 8$, округляя τ_0 .

4. Вычислить длину пути пробега воды за расчетный интервал времени τ_0 по русловой сети $l_{0p} = \tau_0 v_p$ км и склонам $l_{0скл} = \tau_0 v_{скл}$ км.

5. Пользуясь l_{0p} , начиная от расчетного створа, наметить точки изохрон по всей русловой сети и склоном. Точки склоновых изохрон намечаются по линиям тока, которые проводятся перпендикулярно горизонталям от водоразделов (главного и частных) до ближайшей части соответствующего русла. Здесь имеется в виду, что вода стекает со склонов по линии наибольших уклонов под острым относительно русла углом. По точкам на русловой сети и склонах, равноудаленным от замыкающего створа по времени добегания, провести плавные линии — изохроны, соблюдая расстояния между смежными изохронами, равные по русловой сети l_{0p} и на склонах $l_{0скл}$.

6. Вычислить единичные площади, заключенные между смежными изохронами, f_i км² и по их значениям построить график распределения единичных площадей в виде столбчатой диаграммы, откладывая по горизонтальной оси l_{0p} и τ_0 (контроль $\sum f_i = F$; $\sum l_{0p} = L$; $\sum \tau_0 = \tau$).

7. По записи дождя или водоотдачи вычислить слои осадков за каждый текущий интервал расчетного времени h_1, h_2 и т. д. и по их значениям построить график хода осадков.

8. Пользуясь генетической формулой по единичным площадям и осадкам, вычислить объемы воды за текущие интервалы времени τ_{0i} $w_1 = h_1 \cdot f_1$; $w_2 = h_1 f_2 + h_2 f_1$ и т. д., а затем с учетом коэффициента стока α и числа секунд в расчетном интервале времени τ_0 текущие объемы полного стока за τ_0 пересчитать в текущие расходы Q_i м³/с по равенству $Q_i = \frac{10^3 \sum h f \alpha}{\tau_0}$ м³/с (h мм, f км², τ_0 с). Все вычисления свести в табл. 20.

Контролем вычислений являются равенства: $\sum \sum h f 10^3 = H \cdot F 10^3$ и $\sum Q_i \tau_0 = H F \alpha 10^3$.

9. По текущим расходам построить гидрограф рассчитанного наводка.

В пояснительном тексте к построению гидрографа генетическим методом отметить как сформировался максимальный расход — какая часть осадков и бассейна приняли участие в его формировании.

Таблица 20

Вычисление расходов воды гидрографа генетическим методом

f_i , км ²	h_i , мм					Σhf	Q_i
	h_1	h_2	h_3		h_n		
f_1	$h_1 f_1$					$h_1 f_1$	
f_2	$h_1 f_2$	$h_2 f_1$				$h_1 f_2 + h_2 f_1$	
f_3	$h_1 f_3$	$h_2 f_2$	$h_3 f_1$			...	
...						...	
f_n	$h_1 f_n$	$h_2 f_{n-1}$	$h_3 f_{n-2}$			...	
					$h_n f_n$	$\Sigma \Sigma hf =$ $h_n f_n$	

ЗАДАНИЕ 10

**РАСЧЕТ ГИДРОГРАФОВ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ
ПО ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ФОРМУЛЕ СТОКА
НА МОДЕЛИРУЮЩЕЙ МАШИНЕ ПР-43
ПО МАТЕРИАЛАМ НАБЛЮДЕНИЙ**

Контрольные вопросы

1. На чем основано моделирование гидрологических процессов?
2. Назовите типы моделирующих машин, их достоинства и недостатки.
3. Использование моделирующих машин для расчетов и прогнозов паводков в нашей стране.

Расчетная часть

Подобрать машинные параметры и провести расчет гидрографа паводка расчетной реки на моделирующей машине ПР-43.

Для расчета необходимо иметь ход стока расчетной реки в замыкающем створе и осредненный ход дождя за расчетную единицу времени Δt .

Порядок выполнения

1. Выписать в табл. 21 исходные данные по осадкам и стоку.
2. Построить совмещенный график хода стока $Q_{\text{факт.}}$ и осадков H во времени.

3. Определить слой поверхностного стока за паводок

$$y = \frac{\Sigma (Q_{\text{факт.}} - Q_{\text{гр}}) \cdot \Delta t}{F \cdot 10^6} \text{ мм}, \quad (55)$$

где Δt — расчетная единица времени в с; $Q_{\text{факт.}}$ — осредненный за расчетную единицу времени Δt расход воды в л/с; $Q_{\text{гр}}$ — величина грунтового питания в л/с; F — водосборная площадь в км².

4. Определить коэффициент стока

$$\alpha = \frac{y}{\Sigma (H_{\text{ср}} - H_0)},$$

где H_0 — слой начальных потерь (заданный).

5. Вычислить эффективные осадки за каждую расчетную единицу времени

$$h_{\text{эф}} = (H_{\text{ср}} - H_0) \cdot \alpha.$$

6. Определить машинный коэффициент

$$M_h = \frac{100}{h_{\text{эф. max}}}$$

7. Перевести эффективные осадки в машинные единицы (вольты)

$$U = h_{\text{эф}} \cdot M_h.$$

8. Найти коэффициент формы гидрографа

$$\gamma = \frac{t_{\text{сп}}}{t_{\text{п}}},$$

где $t_{\text{сп}}$ и $t_{\text{п}}$ — продолжительность спада и подъема паводка.

9. Определить число RC-блоков — параметр n по таблице в зависимости от γ :

γ	< 1,8	1,8 ÷ 2,2	2,3 ÷ 2,7	2,8 ÷ 3,5	> 3,5
n	6	5	4	3	2

10. Вычислить масштабный множитель времени

$$M_t = \frac{\Delta t \cdot v}{l_0},$$

где v — скорость движения ленты потенциометра, равная 2,66 м/с; l_0 — величина масштаба времени на ленте потенциометра, равная 5 мм.

11. Определить машинную постоянную времени

$$T = \frac{1,3 \cdot t_{\text{сд}}}{M_i \cdot n} \text{ с,}$$

где $t_{\text{сд}}$ — время сдвига, определяется по совмещенному графику хода стока и осадков как время между максимумом выпавшей порции осадков и максимальным расходом, в с.

12. С помощью таблицы по величине T найти значение C , а затем R по соотношению

$$R = \frac{T}{C}.$$

Здесь C — емкость конденсатора в мкф; R — величина электрического сопротивления в мегаомах:

$T, \text{ с}$	0—4	4—20	> 20
$C, \text{ мкф.}$	2	10	20

13. На рабочем поле моделирующей машины ПР-43 собрать схему и получить машинный гидрограф.

14. Расшифровать машинный гидрограф по формуле

$$Q_p = b_i \frac{h_{\text{эф. max}} \cdot F \cdot 10^6}{2m \Delta t} + Q_{\text{гр}} \text{ л/с,}$$

где Q_p — расчетное значение расхода воды; b_i — ординаты машинного гидрографа в мм; $h_{\text{эф. max}}$ — максимальный слой эффективных

Таблица 21

Расчетные данные

№ п/п	Дата	Часы	H_1	H_2	H_3	$H_{\text{ср}}$	H_0 $H_{\text{ср}} - H_0$	$h_{\text{эф}}$	$U_{\text{в}}$	$Q_{\text{ф}}$	$Q_{\text{ф}} - Q_{\text{гр}}$	b_i , мм	$Q_p - Q_{\text{гр}}$	Q_p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Примечание. В графе 8 вычитание H_0 производить до тех пор, пока первые порции осадков в сумме составят H_0 . Остальные порции осадков $H_{\text{ср}}$ из графы 7 переписывают в графу 8 без изменения.

осадков в мм; $\bar{F}$ — площадь водосбора в км²; m — величина масштабного пика, равная 110 мм; Δt — расчетная единица времени в с.

15. Полученный расчетный гидрограф совместить с наблюдаемым, вычислить ошибку расчета максимального расхода и сделать выводы:

$$\sigma_{Q_{\max}} = \frac{Q_{\max \text{ ф}} - Q_{\max \text{ р}}}{Q_{\max \text{ ф}}} \cdot 100 \%$$

ЗАДАНИЕ 11

ПОСТРОЕНИЕ РЕДУКЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ МОДУЛЕЙ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ОТ ПЛОЩАДИ ВОДОСБОРА

Контрольные вопросы

1. Основные закономерности редукции модуля максимального стока с возрастанием площади водосбора или времени добегания.
2. Схема редукционной зависимости $q_{\max} = \Psi(F)$ или $q_{\max} = \psi'(\tau)$.
3. Редукция снеговых и дождевых модулей стока.
4. Уравнение редукционной зависимости $q_{\max} = \Psi(F)$, его основные параметры.
5. Физический смысл и размерность единичного модуля максимального стока A и коэффициента C .

Порядок выполнения

1. В однородном физико-географическом районе (в районе расчетной реки) выбрать 20—30 пунктов наблюдений за стоком с большим диапазоном площадей, включая самые малые водосборы. В табл. 22 выписать по каждому пункту все основные характеристики бассейнов и проанализировать их.

Таблица 22

Расчетные данные

Река-пункт	F , км ²	Период наблюдений	$L_{\text{ср}}$, км	$H_{\text{ср}}$, м	f_6	f_L	f_{q3}	$I_{\text{ср}}$, взв	$Q_{\text{ср}}$, max	$Q_{1\%}$	$q_{1\%}$	$A_{1\%}$
1												
2												

2. В табл. 22 выписать средние максимальные расходы (в зависимости от преобладающего их значения — весенние или дождевые), 1%-ные расходы и их модули.

3. По данным табл. 22 построить график зависимости модулей максимального стока от площадей водосборов в логарифмических координатах — $\lg q_{1\%} = \Psi(\lg F)$. Проанализировать расположение точек, обратив основное внимание на точки, наиболее отклоняющиеся от общей закономерности.

4. По центрам точек провести линию связи, которая как правило в зоне $F > 50-100 \text{ км}^2$ представляет логарифмическую прямую, а в зоне малых F — вид кривой, и в целом имеет аналитическое выражение вида

$$q_{\max} = \frac{A_{1\%}}{(F+C)^n}.$$

5. Решить уравнение логарифмической прямой и установить численные значения параметров n , A и C , имея в виду, что параметр C отражает уменьшение редукции модулей максимального стока в зоне малых площадей.

6. При установленных параметрах n и C вычислить и внести в табл. 22 значения $A_{1\%}$ для каждого створа, пользуясь равенством

$$A_{p\%} = q_{\max p} (F+C)^n. \quad (56)$$

7. Объяснить причины разницы значений параметров A в створах с примерно одинаковыми водосборными площадями. Для этого выбрать 2—3 пары створов с близкими площадями водосборов и существенным различием значений $q_{\max}$ и A , имея в виду влияние факторов подстилающей поверхности на максимальный сток.

8. Проверить наибольшие значения параметра $A_{1\%}$ по метеорологическим данным по соотношению

$$A_{1\%} = 0,28 a_{\text{час } 1\%} \alpha,$$

где $a_{\text{час}}$ — интенсивность дождя мм/ч 1 %-ной обеспеченности.

9. Рекомендовать расчетные значения параметров формулы, придерживаясь верхней огибающей зависимости $q_{\max} = \Psi(F)$.

10. С учетом рекомендованных расчетных параметров вычислить максимальный расход 1 %-ной обеспеченности для расчетного створа и сравнить его со значением, полученным по кривой обеспеченности.

ЗАДАНИЕ 12

ПОСТРОЕНИЕ РЕДУКЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИВНЯ ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ

Контрольные вопросы

1. Типы ливней и дождей с точки зрения их эффекта в отношении стока.

2. Характеристика ливней и ливневых дождей.
3. Метеосиноптические условия выпадения ливней, ливневых и обложных дождей.
4. Почему при расчете максимальных расходов дождевых паводков вводится предельная интенсивность дождей, средняя за время, равное времени добегания.
5. Зависимость предельной интенсивности ливней от их продолжительности. Основной вид формул и их параметры.
6. Физический смысл параметра — предельная интенсивность ливня. Ее расчет и зависимость от повторяемости.
7. Зависимость слоя осадков от площади орошения.

Порядок выполнения

1. В бассейне расчетной реки выбрать характерную метеостанцию и за период наблюдений на ней выписать ход максимального по слою дождя.
2. Произвести выборку из записи хода дождя максимальных интенсивностей за интервалы 1, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 мин., 1 сутки, 2 суток и 3 суток.
3. По результатам обработки построить зависимость в логарифмических координатах $\lg a \text{ мм/мин} = f(\lg T)$.
4. Решить уравнение зависимости: $a_{\max} = f(T)$.
5. На график зависимости $a_{\max} = f(T)$ нанести районные ординаты предельной интенсивности дождей 1%-ной обеспеченности и решить ее уравнение.

ЗАДАНИЕ 13

РАСЧЕТ НАИВЫСШИХ УРОВНЕЙ ВОДЫ РЕК

Контрольные вопросы

1. Практическое значение наивысших уровней воды рек.
2. Определение высоких исторических уровней воды (ВИУ), не зарегистрированных водомерными наблюдениями. (Состав и объем полевых гидрологических исследований);
3. Методы определения максимальных уровней заданных редких повторяемостей.
4. Определить наивысшие уровни воды при отсутствии или недостаточности данных гидрометрических наблюдений.

Порядок выполнения

1. По данным многолетних наблюдений за уровнями воды на р. . . . в створе . . . составить два статистических однородных ряда, соответствующих снеговому половодью и дождевым паводкам из высших мгновенных или срочных уровней.

2. Построить эмпирические кривые и определить параметры теоретических кривых обеспеченности ($H_{\text{ср}}$, C_v , C_s). Эмпирическая вероятность превышения наивысших уровней определяется по формуле

$$P = \frac{m}{n+1} 100 \text{ \%}.$$

Проанализировать кривые обеспеченности и установить достаточно ли данных наблюдений для определения расчетных величин («Руководство», стр. 29).

3. По теоретической кривой обеспеченности определить максимальный уровень 1%-ной обеспеченности и сравнить его с максимальным наблюдаемым.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Клибашев К. П. и Горюшков И. Ф. Гидрологические расчеты. Л., Гидрометеониздат, 1970, 460 с.
2. Соколовский Д. Л. Речной сток. Л., Гидрометеониздат, 1968, 539 с.

Дополнительная

3. Владимиров А. М. Минимальный сток рек СССР. Л., Гидрометеониздат, 1970, 215 с.
4. Воскресенский К. П. Гидрологические расчеты при проектировании сооружений на малых реках, ручьях и временных водотоках. Л., Гидрометеониздат, 1956, 468 с.
5. Воскресенский К. П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л., Гидрометеониздат, 1962, 546 с.
6. Гидрологический ежегодник. Л., Гидрометеониздат (год и выпуск указываются преподавателем).
7. Материалы наблюдений стоковой станции. Л., Гидрометеониздат (год и выпуск указываются преподавателем).
8. Методические рекомендации к составлению справочника по водным ресурсам СССР, вып. 4, 5, 6. Л., изд. ГГИ, 1961.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л., Гидрометеониздат (год и выпуск указываются преподавателем).
10. Указания по определению расчетных минимальных расходов воды рек при строительном проектировании. СН 346-66. Л., Гидрометеониздат, 1966, 17 с.
11. Указания по определению расчетных величин годового стока рек и его внутригодового распределения. СН 371-67. Л., Гидрометеониздат, 1968, 23 с.
12. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик. СН 435-72. Л., Гидрометеониздат, 1972, 19 с.
13. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. СН 435-72. Л., Гидрометеониздат, 1973, 111 с.
14. Шамов Г. И. Речные наносы. Режим, расчеты и методы измерений. Л., Гидрометеониздат, 1959, 378 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Задание 1. Определение нормы годового стока	5
Задание 2. Определение поправочных коэффициентов к карте норм стока для малых бассейнов	16
Задание 3. Определение годового стока различной обеспеченности	18
Задание 4. Расчет внутригодового распределения стока	24
Задание 5. Анализ и расчет минимальных расходов воды	28
Задание 6. Анализ и расчет твердого стока	32
Задание 7. Расчет максимальных расходов талых и дождевых вод заданных обеспеченностей по материалам гидрометрических наблюдений	34
Задание 8. Расчет максимальных расходов воды при отсутствии данных наблюдений	38
Задание 9. Построение гидрографов весенних половодий и дождевых паводков	42
Задание 10. Расчет гидрографов дождевых паводков по генетической формуле стока на моделирующей машине ПР-43 по материалам наблюдений	48
Задание 11. Расчет редукционной зависимости модулей максимального стока от площади водосбора	51
Задание 12. Построение редукционной зависимости интенсивности ливня от продолжительности	52
Задание 13. Расчет наивысших уровней воды рек	53
Литература	54

*Горошков Иван Филиппович, Орлов Вадим Георгиевич,
Соколова Тамара Александровна*

Практические задания по курсу «Гидрологические расчеты»

Редактор *Ю. П. Андрейков*

Сдано в набор 31/III-1976 г. Подписано к печати 27/X-1976 г.
Формат бумаги 60×90^{1/16}. Бумага тип. № 2. Тираж 900 экз.
Объем 3,5 п. л. Зак. 323. Цена 18 коп.
ЛГМИ. 196195, Ленинград, Малоохтинский пр., д. 98.