К.П. КЛИБАШЕВ
И.Ф. ГОРОШКОВ



ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

К. П. КЛИБАШЕВ, И. Ф. ГОРОШКОВ

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Издание второе
переработанное и дополненное

Под редакцией
д-ра техн. наук
проф. А. И. ЧЕБОТАРЕВА

Допущено
Министерством высшего
и среднего специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для студентов
гидрометеорологических специальностей вузов

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД • 1970

УДК 556(075.8)

Книга представляет собой сборник основных методических разработок и современных методов расчета элементов стока, подробно иллюстрированных практическими примерами. В ней приводятся необходимые справочные таблицы и карты изолиний стока, осадков и других расчетных характеристик.

Книга рекомендуется в качестве учебного пособия для студентов гидрометеорологических вузов, географических факультетов университетов (по специальности «Гидрология»); может быть также пособием для инженеров-гидрологов, гидротехников, научных работников соответствующих специальностей. (По плану Министерства высшего и среднего специального образования СССР.)

2-9-6
26-70

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое читателям учебное пособие является вторым изданием книги А. И. Чеботарева и К. П. Клибашева «Гидрологические расчеты», вышедшей в 1956 г.

В процессе подготовки учебного пособия авторы существенно переработали первое издание и значительно дополнили его современными методами расчетов гидрометеорологических характеристик и элементов речного стока, устранив второстепенные и устаревшие способы и приемы. В книге нашли отражение методические рекомендации Государственного гидрологического института по обработке и обобщению гидрометеорологических материалов наблюдений к составлению справочников по водным ресурсам СССР, а также Указания по определению расчетных величин различных характеристик стока, разработанные ГГИ и утвержденные Госстроем СССР в качестве официальных норм. Во многих случаях изложению расчетных методов и формул предшествует рассмотрение общих теоретических предпосылок и положений.

Большинство помещенных в учебном пособии методов и приемов расчета поясняется практическими примерами расчета, которые построены на материалах наблюдений сети гидрометеорологических станций и экспедиционных исследований. Параметры расчетных формул установлены по рекомендациям соответствующих методов. Текст учебного пособия и примеры расчетов иллюстрируются графиками, картограммами и таблицами.

Содержание учебного пособия «Гидрологические расчеты» и последовательность его изложения в общем соответствует учебным программам курсов общей гидрологии и речного стока для гидрометеорологических вузов.

При изложении методов расчета и иллюстрации их практическими примерами авторы исходили из того, что практические задания, выдаваемые учащимся, являются индивидуальными и построены главным образом на кадастровых гидрометеорологических материалах, публикуемых Гидрометслужбой в виде ежегодников, справочников, монографий и других изданий. Пользование фактическими материалами в процессе обучения позволяет учащимся не только усвоить методы и приемы расчетов гидрометеорологических характеристик, но и ознакомиться с особенностями режима рек, структурой и содержанием кадастровых изданий.

Авторы выражают благодарность рецензентам пособия доктору географических наук, профессору К. П. Воскресенскому и доценту, кандидату географических наук А. Г. Иваненко за высказанные ими ценные предложения, использованные авторами. Считаем своим долгом выразить признательность доктору технических наук, профессору Л. И. Чеботареву, которому принадлежит идея создания настоящего учебного пособия.

Отдельные главы учебного пособия составили: главы 1, 2, 5, 9 и § 7.5 — кандидат технических наук К. П. Клибашев; главы 3, 4, 7, 8 — кандидат технических наук И. Ф. Горошков; § 2.4 — научный сотрудник Г. Н. Нечаев; главу 6 — кандидат технических наук А. М. Владимиров.

Глава I

ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕК

Гидрографические характеристики любого речного бассейна необходимы как для общего изучения реки, так и для использования их в гидрологических расчетах и прогнозах, а также при оценке водохозяйственного использования водного объекта.

Способы определения гидрографических характеристик и графических построений рассматриваются на примере бассейна р. Каменки, при этом карта бассейна (приложение I) дается схематично (без населенных пунктов, дорог и пр.).

§ 1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ РЕКИ И ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЕЕ ИЗВИЛИСТОСТИ

Длина реки (участка реки) измеряется циркулем с постоянным раствором, равным 1 или 2 *мм*, или усовершенствованным курвиметром КС.

При использовании циркуля река на карте предварительно разбивается на участки, имеющие однородную извилистость. Границы участков отмечаются на карте засечками (приложение I).

Длина реки измеряется дважды: вначале от устья до истока с отсчетом и записью числа отложений раствора циркуля до каждой засечки, а затем в обратном направлении также по отдельным участкам. Расхождение количества отложений между засечками при двух измерениях не должно превышать 2%. При выполнении этого условия за окончательную величину принимается среднее число отложений.

Длина реки (участка) при измерении циркулем определяется по формуле

$$L = MKa, \tag{1.1}$$

где L — вычисленная длина в *км*; M — среднее из двух измерений количество отложений раствора циркуля; K — поправочный коэффициент на извилистость, определяемый по рис. 1.1;

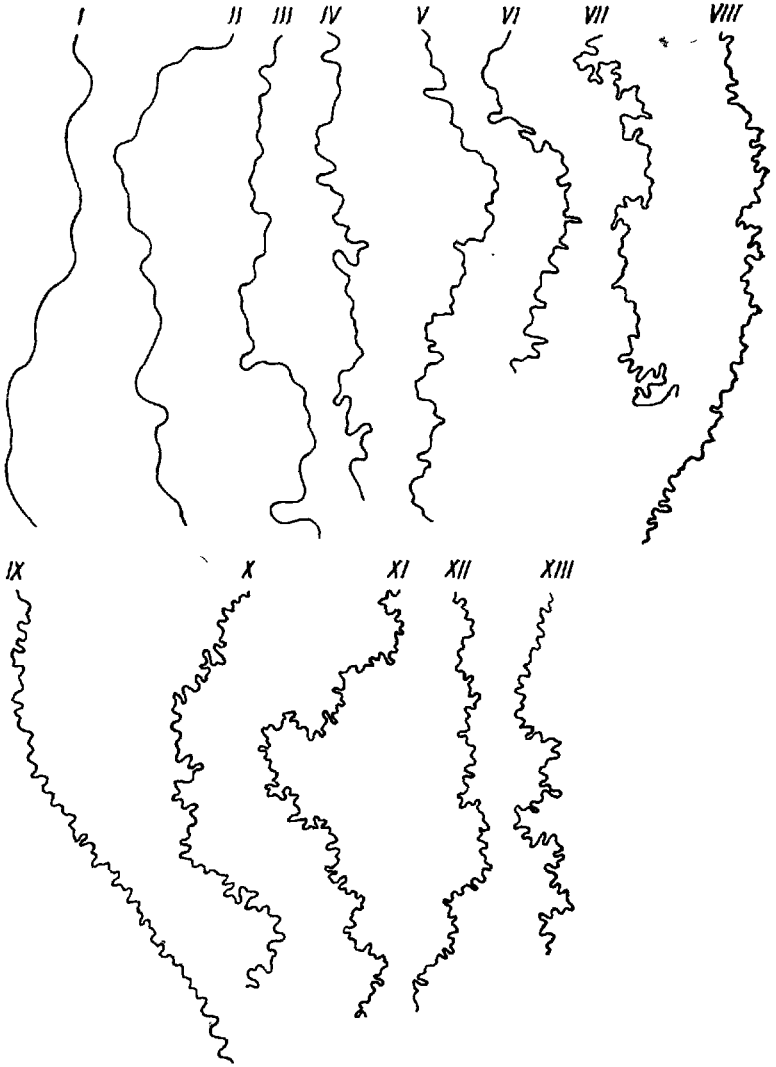


Рис. 1.1. Образцы извилистости рек.

№ образца	I	II	III	IV	V	IV	VII
Коэффициент извилистости при растворе циркуля							
1 *мм*	1,00	1,01	1,03	1,05	1,07	1,11	1,13
2 *мм*	1,01	1,02	1,05	1,18	1,20	1,29	13

№ образца	VIII	IX	X	XI	XII	XII
Коэффициеит извилистости при растворе циркуля						
1 *мм*	1,17	1,20	1,24	1,29	1,32	1,35
2 *мм*	1,43	1,45	1,46	1,59	1,59	1,73

a — раствор циркуля в масштабе рабочей карты, соответствующий значениям, приведенным в табл. 11

Таблица 11

Масштаб карты	Величина раствора циркуля, *км*	
	при 1 *мм*	при 2 *мм*
1 : 25 000	0,025	0,05
1 : 50 000	0,05	0,10
1 : 100 000	0,10	0,20

При измерении длины реки (участка) курвиметром КС (рис. 1.2) определяется отсчет по прибору между засечками. Измерение производится также два раза — от устья до истока и в обратном направлении. Для удобства отсчетов делений на шкале курвиметра по отдельным участкам стрелка отсчета на каждой засечке устанавливается на отсчет, равный нулю. Расхождение между отсчетами не должно превышать величин, приведенных в табл 12

Таблица 12

Масштаб карты	Длина пути, пройденного обводным колесиком прибора, *см*	Допустимое расхождение в отсчетах делений по шкале
1 : 25 000	10	0,1—0,2
1 : 50 000	25	0,3—0,4
1 : 100 000	50	0,5—0,7

Длина реки при измерении курвиметром вычисляется по формуле

$$L = a \pm (a\,\Delta l), \qquad (1.2)$$

где L — вычисленная длина в *км*; a — *средний отсчет по шкале курвиметра* в *см*; Δl — поправка на одно деление шкалы (за счет погрешности прибора), которая указывается в свидетельстве, прикладываемом к прибору заводом-изготовителем.

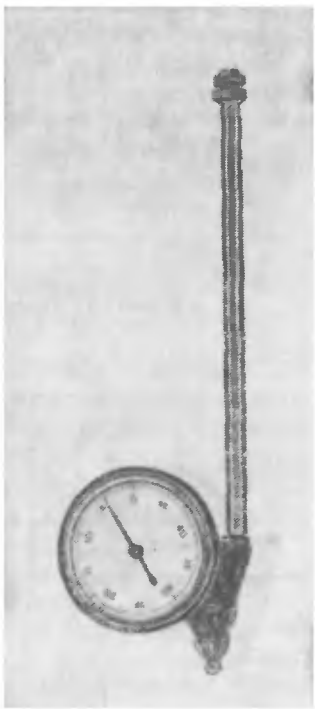


Рис. 12 Усовершенствованный курвиметр КС

В зависимости от масштаба карты одно большое деление курвиметра соответствует:

0,25 *км* для карты масштаба 1 : 25 000
0,50 *км* „ „ „ 1 : 50 000
1,00 *км* „ „ „ 1 : 100 000

Пример определения длины реки изложенными способами приведен в табл. 1.3 и 1.4.

Таблица 1.3

Ведомость измерений длины р. Каменки (устье—исток)

Раствор циркуля 2 *мм*

Место засечки	Число отложений от устья	между засечками I измерение	между засечками II измерение	среднее между засечками	Измеренная длина участка, *км*	Коэффициент извилистости *K*	Вычисленная длина, *км*	Расстояние от устья, *км*
Устье	0,0							0,0
		23,0	22,8	22,9	4,58	1,43	6,55	
р. Родниковая	23							6,55
		28,0	28,0	28,0	5,60	1,36	7,62	
р. Глухая	51							14,17
		40,0	39,8	39,9	7,98	1,20	9,58	
руч. Песчаный	91							23,75
		35,0	35,0	35,2	7,04	1,18	8,31	
руч Веселый	126,5							32,06
		39,0	39,0	39,0	7,80	1,05	8,20	
Исток	165,5							40,26

Длина реки 40,3 *км*

Таблица 1.4

Ведомость измерений длины р. Каменки (устье—исток)

Курвиметр № 77 (поправка 0.005)

Место засечки	Расстояние, *км*: от удаленной точки	между засечками: I измерение	между засечками: II измерение	среднее между засечками	Измеренная длина участка, *км*	Поправка на длину участка, *км*	Вычисленная длина, участка, *км*	Расстояние от удаленной точки, *км*	Примечание
$H_{истока}$=195 (*м*)	0							0	Исток и удаленная точка совпадают
		2,1	2,0	2,0	2,0	0	2,0		
Горизонтали									
180	2,1							2,0	
		7,4	7,4	7,4	7,4	0	7,4		
160	9,5							9,4	
		11,0	11,2	11,1	11,1	—0,1	11,0		
140	20,5							20,4	
		11,7	11,8	11,8	11,8	—0,1	11,7		
Урез 125	32,2							32,1	
		5,8				0	5,8		
Горизонталь 120	38,0		5,8	5,8	5,8			37,9	
		1,6	1,6	1,6	1.6	0	1,6		
$H_{устья}$=114,8 (*м*)	39,6							39,5	

Длина реки 39,5 *км*

Как видно из таблиц, результаты измерений практически одинаковы.

Аналогичным образом определяются и длины притоков.

Коэффициент извилистости реки, характеризующий степень ее извилистости, представляет собой отношение фактической длины реки, вычисленной по формуле (1.1) или (1.2), к длине прямой (в масштабе карты), соединяющей исток и устье.

Для р. Каменки коэффициент извилистости равен $\frac{39,5}{21,6} = 1,83$.

§ 1.2. ПОСТРОЕНИЕ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Гидрографическая схема реки представляет собой схематическое изображение речной системы в бассейне. Для этой цели необходимо иметь данные о длинах реки и притоков и местах их впадения в основную реку. Построение схемы производится путем

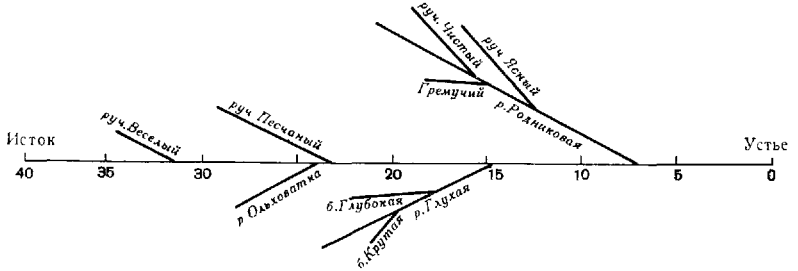


Рис. 1.3. Гидрографическая схема р. Каменки.

вычерчивания в произвольном масштабе прямой, равной длине главной реки; от этой прямой под некоторым произвольным углом откладываются длины притоков в точках впадения их в главную реку. Аналогичные построения производятся и для притоков второго и третьего порядка.

Пример построения гидрографической схемы приведен на рис. 1.3, а данные для построения схемы — в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Сведения о притоках р. Каменки

Приток	Расстояние от устья, *км*	Длина притока, *км*	Приток	Расстояние от устья, *км*	Длина притока, *км*
руч. Веселый . .	31,5	3,5	б. Крутая	5,1	2,5
р. Ольховатка .	24,0	5,0	р. Родниковая .	7,3	15,0
руч. Песчаный .	23,3	6,5	руч. Ясный . . .	5,8	7,5
р. Глухая . . .	14,8	10,0	лог Гремучий . .	8,5	3,5
б. Глубокая . . .	3,7	4,2	руч. Чистый . .	9,5	5,0

§ 1.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ВОДОСБОРА

Площадь водосбора главной реки и притоков определяется по карте. Наиболее удобна для измерения площадей водосборов размером 500 *км*² и более топографическая карта среднего масштаба (1 : 200 000 и 1 : 300 000). Основные горизонтали даны на ней, так же как и на картах крупного масштаба, через 20 *м*. В отношении полноты изображения гидрографической сети она мало чем отличается от карт крупного масштаба. Даже мелкие речки, имеющиеся на крупномасштабных картах, как правило, сохранены и на картах среднего масштаба. По площади же один лист карты среднего масштаба покрывает территорию 16 листов крупномасштабной карты.

Площади водосборов менее 300—500 *км*² рекомендуется измерять по топографическим картам крупного масштаба.

Измерение площадей водосборов по топографическим картам производится планиметром или палеткой.

Измерение планиметром. Предварительно определяется цена деления планиметра путем обводки контура трапеции при измерении площадей на картах мелкого и среднего масштабов или квадрата километровой сетки (размером не менее 10 × 10 *см*) при измерении по крупномасштабным картам.

В первом случае математическая площадь трапеции берется по таблице (приложение 1).

Контур водосбора обводится планиметром при двух положениях полюса относительно обводного рычага: один раз при полюсе «право», другой — при полюсе «лево». Расхождение между результатами обводов не должно превышать величин, приведенных в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Число делений планиметра в контуре	Предельное расхождение числа делений планиметра при двух обводах	Число делений планиметра в контуре	Предельное расхождение числа делений планиметра при двух обводах
До 150	2	1000—1400	8
150—600	4	1400 -1800	10
600—1000	6	1800—2200	12

При превышении приведенных в табл. 1.6 величин работа повторяется заново до получения удовлетворительных результатов.

Малые площади обводятся пять-шесть раз без промежуточных отсчетов; полученное число делений планиметра (разность отсчетов в начале и конце обводки), разделенное на количество обводок, и даст среднее число делений планиметра, соответствующее однократной обводке площади.

Если в трапеции измерено несколько контуров и невязки по каждому контуру в отдельности не превышают допустимых величин, то общая невязка, полученная как разность между математической площадью трапеции, взятой из приложения 1, и суммой площади контуров, разбрасывается на каждый контур пропорционально их площади. Поправка вводится с обратным знаком.

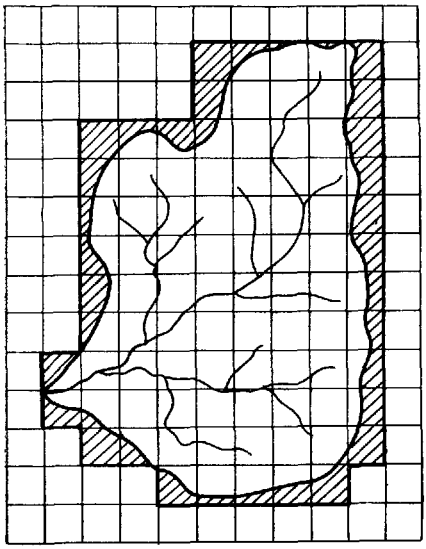


Рис 1 4 Схема определения площади водосбора планиметрированием

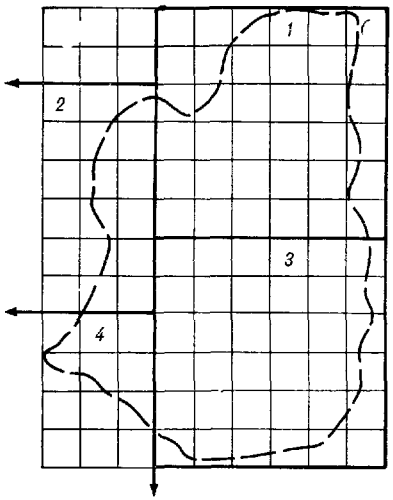


Рис. 1 5 Схема измерения площади водосбора палеткой

При работе усовершенствованным планиметром ПП-2к, имеющем дополнительный счетный механизм, количество обводок сокращается в два раза.

При работе на картах крупного масштаба, на которых имеется разграфка по квадратам, площадь водосбора определяется следующим образом.

Выделенный на карте водосбор (главной реки, притока) оконтуривается прямыми линиями, проведенными по сторонам квадратов с таким расчетом, чтобы фигура бассейна размещалась внутри контура, состоящего из целого числа квадратов (рис. 1.4). Затем путем планиметрирования измеряются площади исследуемого водосбора и оставшейся части контура до полной площади, ограниченной прямыми линиями (заштрихованная площадь на рис 1 4). Сумма площадей обеих фигур должна быть равна сумме математических площадей квадратов.

Цена деления планиметра, как указывалось выше, вычисляется путем обводки планиметром квадрата со сторонами 10 × × 10 *см*.

Измерение палеткой. Палетка представляет собой прозрачную пластинку или кальку с награвированной или вычерченной на ней сеткой квадратов.

При измерении площади палетку накладывают на контур водосбора, подсчитывают число полных ячеек палетки в контуре и суммируют части неполных ячеек у краев контура.

Практически поступают так (см. приложение I). Приложив края палетки к линии километровой сетки с оцифровкой, подсчитывают целые клетки и их части. В процессе работы с палеткой тщательно следят за тем, чтобы ее первоначальное положение не менялось, т. е. чтобы края палетки точно совпадали с линиями километровой сетки, имеющими оцифровку. Подсчет кле-

Таблица 1.7

Ведомость измерения площади водосбора р. Каменки

Планиметр № 15359, длина рычага 17 *см*
Цена деления планиметра 0,0993

Название притока, участок	Отсчет по основному механизму	Разность отсчетов	Отсчет по дополнительному механизму	Разность отсчетов	Среднее из разности отсчетов	Измеренная площадь, *км²*	Величина поправки	Окончательная площадь, *км²*
Межбассейновый участок 5—6	1 564 1 626	62	5 707 5 769	62	62	6,2	0	6,2
р. Родниковая	10 202 9 314	888	3 720 2 829	891	890	88,4	—0,6	87,8
Межбассейновый участок 4—5	1 791 1 685	106	5 933 5 825	108	107	10,6	0	10,6
р. Глухая	8 629	418	9 053	416	417	41,3	—0,3	41,0
Межбассейновый участок 3—4	9 057 3 569 3 353	216	8 637 7 788 7 571	217	216	21,4	—0,2	21,2
руч. Песчаный	8 494 8 238	*256*	2 441 2 696	*255*	*256*	*25,5*	*—0,2*	*25,3*
Межбассейновый участок 2—3	2 351 2 348	3	6 286 6 283	3	3	0,3	0	0,3
р. Ольховатка	2 586 2 392	194	6 607 6 411	196	195	19,4	—0,1	19,3
Межбассейновый участок 1—2	7 324 7 167	157	3 295 3 140	155	156	15,4	—0,1	15,3
руч. Веселый	8 304 8 196	108	4 850 4 741	109	108	10,7	—0,1	10,6
Межбассейновый участок 0—1	0 750 1 130	380	7 592 7 972	380	380	37,7	—0,3	37,4
						Σ 276,9	—1,9	275,0

ток следует вести слева направо. Чтобы не сбиться в подсчете количества ячеек, рекомендуется пользоваться конторскими счетами. Подсчитав общее количество клеток при первом положении палетки (рис. 1.5), передвигают ее во второе положение. Окончив подсчет клеток при положении *2*, перекладывают палетку в положение *3* и т. д.

Общее число ячеек палетки, уложившихся в контуре, умноженное на цену деления палетки, выраженную в квадратных километрах, даст площадь измеренного контура водосбора реки.

В табл. 1.7 и 1.8 приведены результаты измерений площади водосбора р. Каменки с помощью планиметра и палетки.

Таблица 1 8

Ведомость измерения площади водосбора р. Камеики с помощью палетки

№ водосбора	Название притока, участок	Площадь водосбора, $км^2$		
		I измерение	II измерение	среднее
1	Бесприточный участок 1	37,1	37,3	37,2
2	руч Веселый (устье)	10,2	10,2	10,2
3	Бесприточный участок 2	14,8	14,6	14,7
4	р. Ольховатка (устье)	19,0	19,0	19,0
5	Бесприточный участок 3	0,3	0,3	0,3
6	руч. Песчаный (устье)	25,6	25,4	25,5
7	Бесприточный участок 4	21,3	21,3	21,3
8	р. Глухая (устье)	41,2	41,4	41,3
9	Бесприточный участок 5	10,9	10,9	10,9
10	р. Родниковая (устье)	88,3	88,3	88,3
11	Бесприточный участок 6	6,2	6,4	6,3
	р. Каменка (устье)	274,9	275,1	275,0

§ 1.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ШИРИНЫ, ВЫТЯНУТОСТИ, АСИММЕТРИЧНОСТИ ВОДОСБОРА И ГУСТОТЫ РЕЧНОЙ СЕТИ

Средняя ширина водосбора B определяется делением площади водосбора F $км^2$ на длину реки L $км$ от истока или наиболее удаленной точки речной системы[1] до рассматриваемого пункта

$$B=\frac{F}{L}. \tag{1.3}$$

Для р. Каменки на основании данных табл. 1.4 и 1.7 средняя ширина водосбора составляет $B=275/39{,}5\approx 7$ $км$.

[1] Наиболее удаленной точкой речной системы считается исток основной реки или исток ее притока наиболее удаленного от замыкающего створа или устья реки

Коэффициент вытянутости водосбора δ характеризуется отношением длины водотока к средней ширине водосбора и вычисляется по формуле

$$\delta = \frac{L^2}{F}. \tag{1.4}$$

Для р. Каменки коэффициент вытянутости водосбора равен $(39{,}5)^2/275 \approx 5{,}7$.

Коэффициент густоты речной (овражно-балочной) сети d, который используется главным образом при расчетах дождевых паводков, представляет собой отношение длины всех поверхностных водотоков (рек, балок, логов) в пределах водосбора к площади этого водосбора

$$d = \frac{\sum L}{F} \ км/км^2, \tag{1.5}$$

где $\sum L$ — общая длина водотоков в $км$; F — площадь водосбора в $км^2$.

Коэффициент густоты речной сети р. Каменки равен $102/275 = 0{,}37$ $км/км^2$.

§ 1.5. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА НАРАСТАНИЯ ПЛОЩАДИ ВОДОСБОРА ПО ДЛИНЕ РЕКИ

Для построения этого графика нарастания площади водосбора в зависимости от увеличения длины реки, кроме площадей водосборов притоков и межприточных участков отдельно для правого и левого берегов главной реки, должны быть измерены расстояния от устья (рассматриваемого пункта) до впадения притоков. На основании данных измерений расстояний и частных площадей водосбора строится график, на котором по горизонтальной оси откладывается длина главной реки в принятом масштабе, а по вертикальной — площади водосборов межприточных участков и площади водосборов притоков в местах впадения их в главную реку. Концы отрезков соединяются прямыми линиями, которые, имея некоторый наклон к горизонтальной линии на межприточных участках, в пунктах впадения притоков образуют уступы, соответствующие резкому увеличению площади водосбора за счет площади впадающего в этом месте притока.

Графики нарастания площади водосбора строятся отдельно для правого и левого берегов реки. Суммарный график может быть получен либо графически (путем геометрического суммирования ординат обоих графиков), либо по данным измерений.

На рис. 1.6 приведен пример построения графика нарастания площади водосбора.

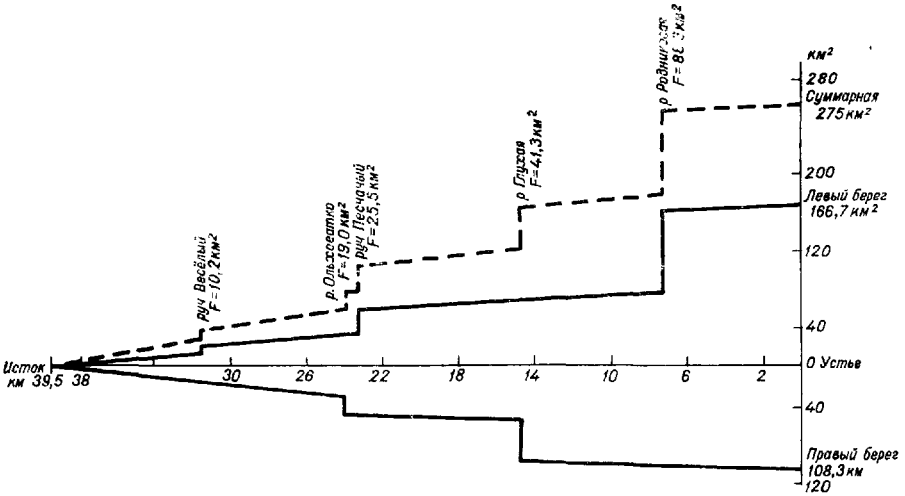


Рис. 1.6. График нарастания площади водосбора.

По суммарному графику легко определяется площадь водосбора для любого заданного пункта на реке. Так, например, площадь водосбора р. Каменки для пункта, расположенного в 14 *км* от устья, составляет 160 *км*^{2}.

§ 1.6. ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ИЗМЕНЕНИЯ ШИРИНЫ ВОДОСБОРА ПО ДЛИНЕ РЕКИ (ИДОГРАММА)

Для построения графика необходимо знать площади бассейнов притоков и бесприточных участков, непосредственно дающих сток в основную реку, и длины и средние ширины бассейнов и бесприточных участков. Для получения исходных данных на рабочую карту (приложение I) наносятся границы бассейнов притоков и бесприточных участков, измеряются длины притоков и бесприточных участков и путем деления площадей на соответствующие длины определяются средние ширины бассейнов притоков и межприточных участков.

Пример нанесения на карту водосборов притоков и бесприточных участков приведен на рис. 1.7 *а*, а полученные данные для построения графика помещены в табл. 1.9.

Идограмма строится на миллиметровой бумаге следующим образом.

По оси абсцисс откладывают в принятом масштабе длину основной реки (в случае если приток длиннее основной реки выше места их слияния, то откладывается длина этого притока). Вдоль по линии построенной линии, как показано на рис. 1.7 *б*, вначале откладывают длины бесприточных участков р. Каменки:

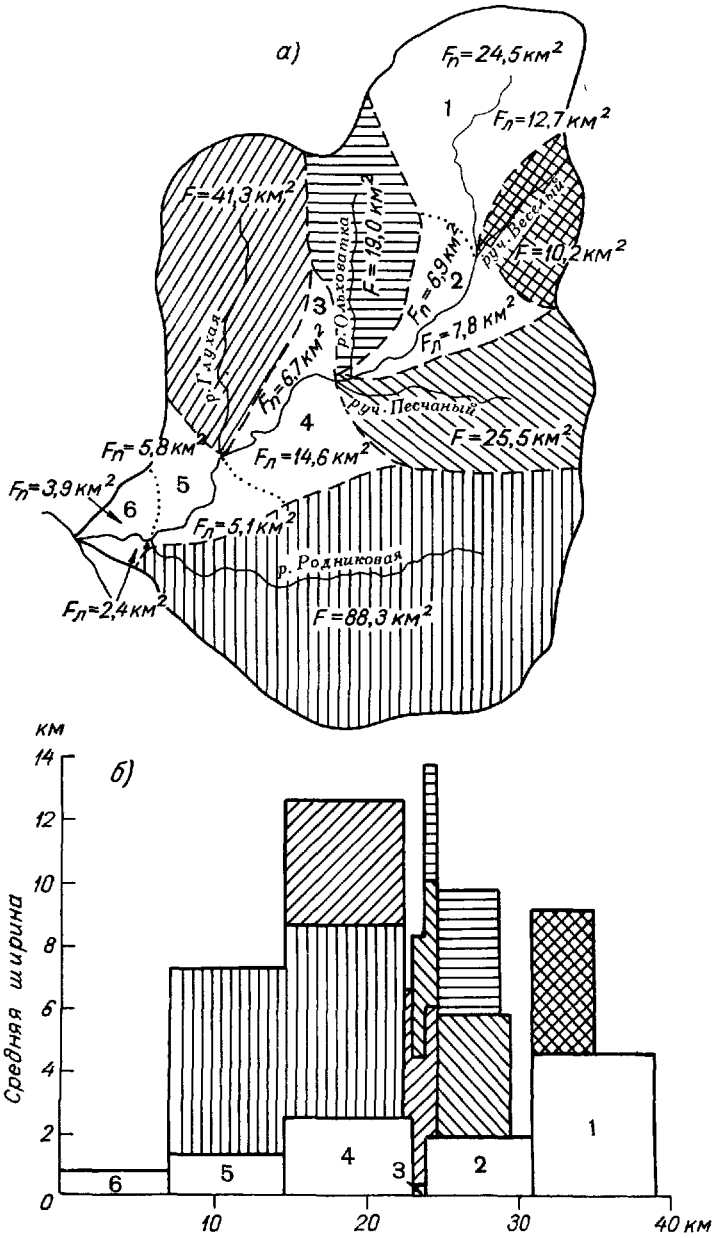


Рис. 1.7. Схема построения идограммы бассейна.

Таблица 1.9

Исходные данные для построения графика изменения ширины водосбора по длине р. Каменки

Название частного бассейна	Расстояние от устья (створа), *км*	Протяжение участка, *км*	Площадь бассейна [1], *км²*	Средняя ширина на участке, *км*
уч. 1 (р. Каменка)	31,5	8,0	37,2	4,65
руч. Веселый	31,5	3,5	10,2	2,92
уч. 1—2 (р. Каменка)	24,0	7,5	14,7	1,96
р. Ольховатка	24,0	5,0	19,0	3,80
уч. 2—3 (р. Каменка)	23,3	0,7	0,3	0,43
руч. Песчаный	23,3	6,5	25,5	3,92
уч. 3—4 (р. Каменка)	14,8	8,5	21,3	2,51
р. Глухая	14,8	10,0	41,3	4,13
уч. 4—5 (р. Каменка)	7,3	7,5	10,9	1,45
р. Родниковая	7,3	15,0	88,3	5,90
уч. 5—6	0	7,3	6,3	0,86

[1] Площади измерены палеткой.

0—1, 1—2, 2—3, 3—4, 4—5, 5—6, а по оси ординат — их средние ширины. На образовавшуюся ломаную линию накладываются ширины водосборов притоков: р. Родниковой, р. Глухой, руч. Песчаного, р. Ольховатки, руч. Веселого. Ширина первого притока, р. Родниковой, отложена вправо на протяжении 15,0 *км* от точки, находящейся на расстоянии 7,3 *км* по оси абсцисс от устья. Причем, эта ширина отложена над шириной участков 4—5 и 3—4. Ширина второго притока, р. Глухой, отложена от точки, находящейся на расстоянии 14,8 *км* по оси абсцисс; эта ширина отложена над суммарной шириной участков 3—4 и р. Родниковой и т. д. В результате получаем график, позволяющий судить об изменении ширины бассейна по длине р. Каменки.

§ 1.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ВЫСОТЫ И СРЕДНЕГО УКЛОНА ВОДОСБОРА И РЕКИ

Средняя высота водосбора $H_{ср}$ вычисляется по формуле

$$H_{ср} = \frac{f_1 H_1 + f_2 H_2 + \ldots + f_n H_n}{F}, \qquad (1.6)$$

где $f_1, f_2 \ldots, f_n$ — частные площади водосборов в *км²*, заключенные между горизонталями (определяются по правилам,

изложенным в § 1.3 (рис. 1.8); H_1, H_2, ..., H_n — средние высоты между горизонталями в *м*; F — общая площадь водосбора в *км*^{2}.

Полученные данные для р. Каменки сведены в табл. 1.10.

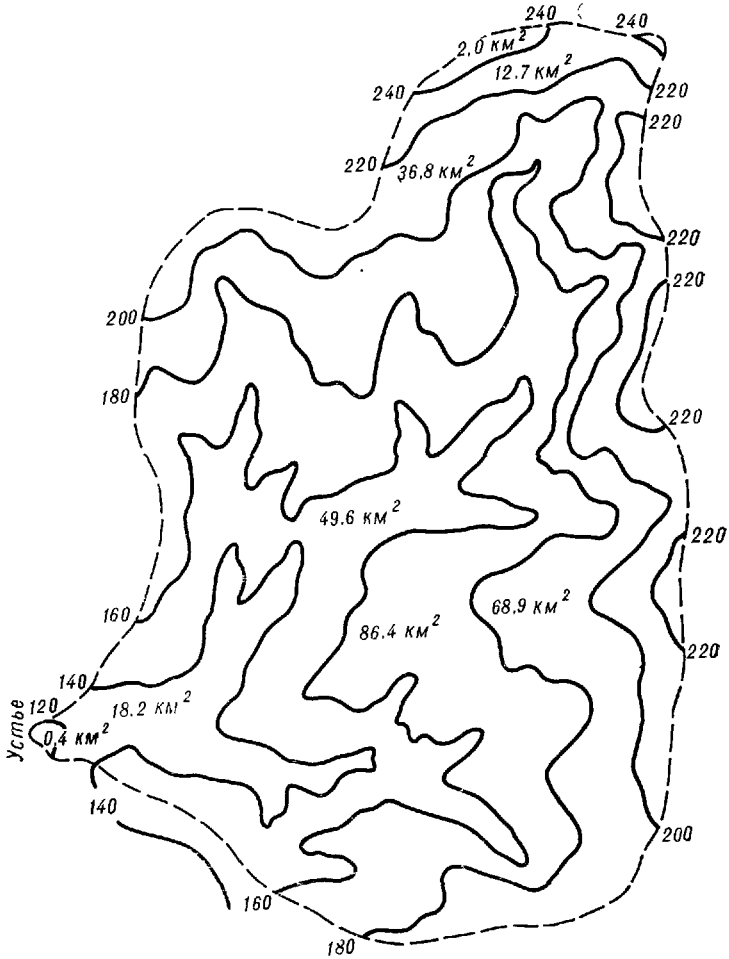


Рис. 1.8. Высотные зоны водосбора р. Каменки и их площади.

Подставляя произведение fH в формулу (1.6), получаем

$$H_{ср} = \frac{48\,766}{275} = 177 \text{ м}.$$

Среднюю высоту бассейна можно также определить по гипсографической кривой, построение которой изложено в § 1.9.

Для получения средней высоты бассейна может быть использован упрощенный способ, заключающийся в следующем.

Таблица 1.10

Отметка горизонтали, *м*	Площадь между горизонталями *f* км²	Средняя высота между горизонталями *H* м	Произведение *fH*
115	0,4	117,5	47
120	18,2	130,0	2 366
140	49,6	150,0	7 440
160	86,4	170,0	14 688
180	68,9	190,0	13 091
200	36,8	210,0	7 728
220	12,7	230,0	2 921
240	2,0	242,5	485
245			Сумма 48 766

Пользуясь палеткой, разбитой на квадраты со стороной 1 *см*, или, как в случае для р. Каменки, готовой километровой сеткой на рабочей карте (приложение I), определяют для каждого квадрата (независимо от того, полный квадрат или часть его входит в пределы бассейна) путем глазомерной интерполяции между горизонталями среднюю высоту, условно относимую к центру квадрата. Путем деления суммы всех высот клеток на число клеток получают среднюю высоту бассейна.

Пример определения средней высоты бассейна р. Каменки упрощенным способом приведен в табл. 1.11.

В данном случае, как исключение, результаты определений средней высоты бассейна по обоим методам оказались одинаковыми.

Средний уклон водосбора I вычисляется по формуле

$$I_{ср} = \frac{h\left(\frac{l_0 + l_n}{2} + l_1 + l_2 + \ldots + l_{n-1}\right)}{F}, \qquad (1.7)$$

где h — сечение рельефа на рабочей карте (разность отметок соседних горизонталей) в *м*; l_0 l_1, ..., l_n — длина горизонталей в пределах водосбора в *км*; F — площадь водосбора в *км*².

Приведем пример вычисления среднего уклона водосбора для р. Каменки. Вначале определяется отметка устья реки. Отметка устанавливается на рабочей карте (приложение I) путем интерполяции между горизонталью 120 *м* и отметкой уреза воды на р. Брусянке $H=114{,}3$ *м*; получаем отметку устья р. Каменки $H=115$ *м* (114,8 *м*). Далее измеряется длина всех горизонталей и результаты, а также необходимые вычисления заносятся в табл. 1.12. Подставляя полученные значения h, l_0, l_1, ..., l_n и F в формулу (1.7), получаем $I_{ср}=4463.2/275=16{,}2\%$.

Таблица 1.11

Определение средней высоты водосбора р. Каменки упрощенным способом

Палетка со стороной квадрата 2 *см*

№ ряда	Отметка, *м*	Сумма отметок	Количество точек	№ ряда	Отметка, *м*	Сумма отметок	Количество точек
1	240	470	2	8	150	1188	7
	230				141		
2	220	636	3		152		
	208				166		
	208				180		
3	204	1015	5		188		
	211				211		
	199			9	141	1329	8
	181				140		
	220				142		
4	202	1152	6		162		
	183				175		
	201				178		
	191				188		
	182				203		
	193			10	145	1266	8
5	188	1273	7		128		
	170				139		
	184				150		
	172				160		
	183				165		
	166				178		
	210				201		
6	165	1208	7	11	140	1005	6
	154				160		
	168				162		
	162				162		
	159				182		
	180				199		
	220			12	165	722	4
7	162	1140	7		177		
	148				188		
	152				192		
	151						
	159				Сумма	12 404	70
	170						
	198			Средняя высота $\frac{12\,404}{70} = 177$ *м*			

Таблица 1.12

Ведомость определения среднего уклона водосбора р. Каменки

Курвиметр № 77

Отметка горизонтали, *м*	Длина горизонтали, *км*	Полусумма длин горизонталей, *км*	Превышение между горизонталями, *м*	Произведение полусуммы длин на превышение
$H_{\text{устья}} = 114{,}8$	0			
		0,8	5,2	4,16
Гориз. 120	1,5			
		16,8	20	336
140	32,0			
		50,5	20	1010
160	69,0			
160	3,0			
		1,5	5	7,5
165	0			
160	66,0			
		63,2	20	1264
180	60,5			
		54,8	20	1096
200	49,0			
200	5,0			
		2,5	5	12,5
205	0			
200	44,0			
		33,7	20	674
220	23,4			
220	9,0			
		4,5	5	22,5
225	0			
220	5,0			
		2,5	5	12,5
225	0			
220	5,5			
		2,8	5	14,0
225	0			
220	4,0			
		2,0	5	10,0
225	0			

Сумма 4463,2

$$\text{Средний уклон водосбора} = \frac{4463{,}2}{275} = 16{,}2\%$$

И. В. Бусалаев предложил средний уклон вычислять по формуле

$$I_{\text{ср}} = 1{,}57\,\frac{hlm}{2F}, \qquad (1.8)$$

где h — сечение рельефа на рабочей карте в *км*; l — сторона сетки, которой покрыт водосбор в *км*; m — количество пересечений горизонтальных и вертикальных сторон сетки с горизонталями; таких пересечений для водосбора

р. Каменки (приложение I) 75 по горизонтальным линиям и 77 по вертикальным, всего 152.

Подставляя полученные значения р. Каменки в формулу (1.8), будем иметь

$$I_{ср} = 1{,}57 \frac{0{,}02 \cdot 2 \cdot 152}{2 \cdot 275} = 17{,}5‰.$$

Результаты, полученные по формулам (1.7) и (1.8), близки; разница величин уклонов не превышает 10%.

Метод Бусалаева является более простым и облегченным. Однако следует иметь в виду, что, во-первых, этот метод при различных положениях сетки относительно горизонталей может дать ошибку в определении уклона водосбора от 1 до 25%, во-вторых, для водосборов со слабовыраженным рельефом ошибки могут быть значительными и, в-третьих, более удовлетворительные результаты получаются только при определении уклонов водосборов в горных районах.

§ 1.8. ПОСТРОЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО УКЛОНА РЕКИ

Продольный профиль реки строится на основании данных о протяженности (длинах) отдельных участков главного русла и соответствующих им высотных отметок, которые могут быть получены при рекогносцировочном обследовании изучаемого водотока в меженный период. Границами участков могут быть места, в которых: а) наблюдается резкое увеличение или уменьшение глубин, б) имеются пороги, быстротоки, перекаты, острова, а) изменяется преобладающая ширина меженного русла, г) изменяется ширина поймы, д) проявляется подпор, е) впадает приток, ж) изменяется прилегающая к реке местность и пр.

Обычно основанием для выделения участков служит изменение сразу нескольких характеристик, т. е. изменение облика реки. Например, могут быть выделены такие участки, как участок течения реки с заболоченной поймой, участок озеровидных расширений русла и поймы, карстовый участок, участок с порогами или стремнинами, участок течения реки в ущелье, теснине и т. д. Длина участка может изменяться до нескольких десятков километров (обычно 10—30 *км* для больших рек и 5—15 *км* для малых).

Данные рекогносцировочных обследований реки в меженный период должны быть приведены к меженному (среднеизменному, обычно летнему) состоянию уровня воды по показаниям водомерных постов, а для рек, на которых таких постов не имеется, — по аналогии с соседними водотоками и данным опроса местных жителей.

Уклон между двумя точками (границами участков) определяется путем деления падения (разности отметок) между точками на расстояние между ними.

Продольный профиль реки строится в системе прямоугольных координат: по оси абсцисс откладываются расстояния между точками, а по оси ординат — высоты точек в абсолютных отметках.

Простейший случай построения продольного профиля приведен на рис. 1.9.

Наиболее полное представление о характере реки, строении ее русла, поймы и долины, уклонах и скоростях течения, а также о природных особенностях отдельных частей водосбора (ландшафте, геологическом строении и пр.) можно получить с помощью построения комплексного графика продольного профиля реки. В качестве примера в приложении II приведен комплексный график продольного профиля р. Колымы. С помощью такого графика можно решать многие гидрологические и водохозяйственные задачи. В частности, учитывая чередующуюся русловую и пойменную многорукавность, можно наиболее правильно выбрать места организации стоковых и уровенных пунктов, наметить участки дополнительных обследований для выбора местоположения различных водохозяйственных сооружений и т. д.

Средний уклон реки приближенно вычисляется по формуле

$$I = \frac{H}{L}, \qquad (1.9)$$

где H — разность отметок урезов (уровней) воды в истоке и устье реки в *м*; L — длина реки в *км*.

Для р. Каменки уклон равен $I = \frac{195 - 114{,}8}{39{,}5} = 2‰$.

При отсутствии продольного профиля реки средний уклон можно вычислить по топографической карте. Для этого необходимо на карте наиболее крупного масштаба определить отметки истока и устья или замыкающего створа и измерить длину реки (участка) одним из способов, изложенных в § 1.1. Поделив разность отметок на длину реки (участка), получим средний уклон.

В том случае, когда исток реки или замыкающий створ не совпадает с горизонталью или отметкой уреза воды, определение высот производится интерполяцией между ближайшими горизонталями, пересекающими реку, или между отметками урезов воды, или же между отметкой уреза и горизонталью. Если же река берет начало с возвышенности, не имеющей отметки наивысшей ее точки, и интерполяцию применить невозможно, истоку придают условную отметку, превышающую отметку горизонтали вершинки на величину не более 5 *м* на карте масштаба 1 : 100 000 и 2,5 *м* на карте масштаба 1 : 50 000 (т. е. на величину, равную сечению вспомогательных горизонталей).

При значительном изменении уклона по длине реки вычисляют так называемый средневзвешенный, или выравненный,

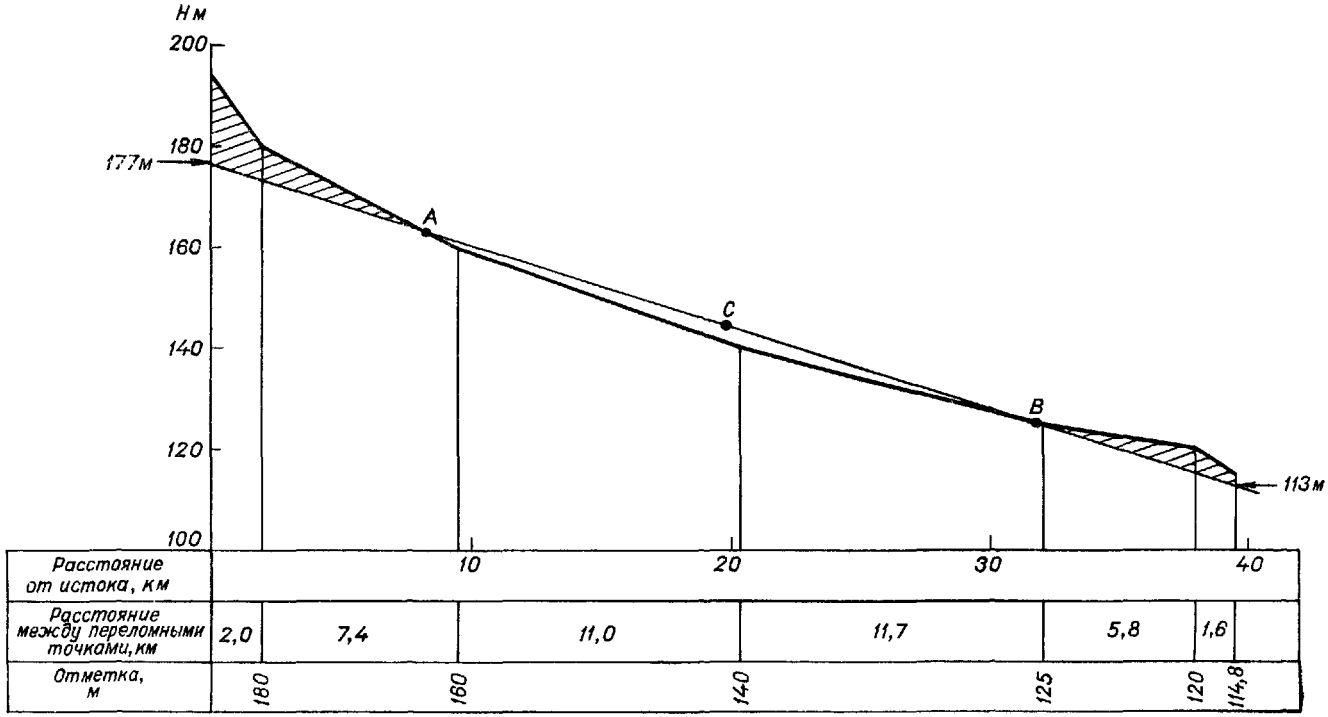


Рис 1.9. Продольный профиль р. Камеики

уклон, который определяется способом, предложенным Г. А. Алексеевым.

Определение уклона реки в этом случае сводится к определению уклона прямой линии, выравнивающей продольный профиль реки из условий равенства и минимума срезаемой и добавляемой площади профиля, как это показано на рис. 1.9.

Из рис. 1.9 видно, что при таком определении выравнивающая прямая линия должна проходить через точку C с координатами:

$$x_C = \frac{L}{2}; \qquad y_C = \frac{\Omega}{L} = H_{ср}, \tag{1.10}$$

где L — длина реки; Ω — площадь выравненного профиля, равная площади естественного профиля и определяемая по формуле

$$\Omega = \frac{H_1 + H_2}{2} l_1 + \frac{H_2 + H_3}{2} l_2 + \ldots + \frac{H_{n-1} + H_n}{2} l_n, \tag{1.11}$$

здесь H_1, H_2, ..., H_n — отметки переломных точек профиля; l_1, l_2, ..., l_n — длины участков реки между точками переломов профиля, в сумме составляющие общую длину реки на определяемом участке.

Вычислив координаты и установив местоположение точки C, положение выравненного профиля определяют на глаз с помощью линейки из органического стекла, позволяющей просматривать прикрытые линейкой части профиля, или же с помощью туго натянутой нити, что менее удобно.

Для профилей рек, имеющих вогнутую или выпуклую форму (см. рис. 1.9), минимум срезаемой и добавляемой площадей достигается при условии равенства отрезков AC и CB.

Нанеся на чертеж положение линии выравненного профиля, снимают с него значения отметок конечных точек выравненной линии и получают величину уклона (в промилле) по обычной формуле (1.9).

При наличии продольного профиля реки выравненный уклон определяют следующим образом:

а) выбирают наиболее характерные точки перелома профиля H_1, H_2 и т. д.;

б) снимают с профиля отметки выбранных точек и расстояния между ними;

в) вычисляют по формуле (1.11) площадь выравненного профиля Ω;

г) определяют по соотношениям $\frac{L}{2}$ и $\frac{\Omega}{L}$ координаты точки C и наносят ее положение на профиль.

Далее поступают так, как описано выше.

При отсутствии профиля реки последний составляют по топографической карте крупного масштаба. Для этой цели на карте отмечают точки с отметками урезов воды и с пересечениями горизонталей и измеряют между ними расстояния. По полученным данным строят продольный профиль реки и по нему вычисляют выравненный уклон реки.

При построении профиля необходимо стремиться к тому, чтобы выбранные масштабы (вертикальный и горизонтальный) не сильно искажали действительный профиль реки.

§ 1.9. ПОСТРОЕНИЕ ГИПСОГРАФИЧЕСКОЙ КРИВОЙ ВОДОСБОРА

Гипсографическая кривая, характеризующая нарастание площади водосбора по высотным зонам, строится на основании данных измерений частных площадей водосбора, заключенных между горизонталями (см. § 1.7). Определение площадей между горизонталями, особенно когда они расположены довольно близко друг от друга, удобнее производить с помощью палетки.

В табл. 1.13 приведены данные, полученные для построения гипсографической кривой р. Каменки.

Таблица 1.13

Распределение площади бассейна р. Каменки по высотным зонам

	115–120 м	120–140 м	140–160 м	160–180 м	180–200 м	200–220 м	220–240 м	240–245 м
Площадь, $км^2$	0,4	18,2	49,6	86,4	68,9	36,8	12,7	2,0
В % от общей площади водосбора	0,1	6,5	18,4	31,4	25,1	13,2	4,6	0,7
Последовательные суммы площадей:								
$км^2$	275	274,6	256,4	206,8	120,4	51,5	14,7	2,0
%	100	99,8	93,3	75,2	43,7	18,7	5,3	0,7

Отложив по оси абсцисс последовательные суммы площадей высотных поясов, а по оси ординат — соответствующие им высоты, получим кривую нарастания площади водосбора по высотным зонам, или гипсографическую кривую водосбора. Эта кривая характеризует изменение средней высоты водосбора по мере перемещения вверх по реке. Кривая позволяет судить, какой процент площади водосбора находится выше заданной высотной зоны.

На рис. 1.10 приведена гипсографическая кривая бассейна р. Каменки, построенная по данным табл. 1.13.

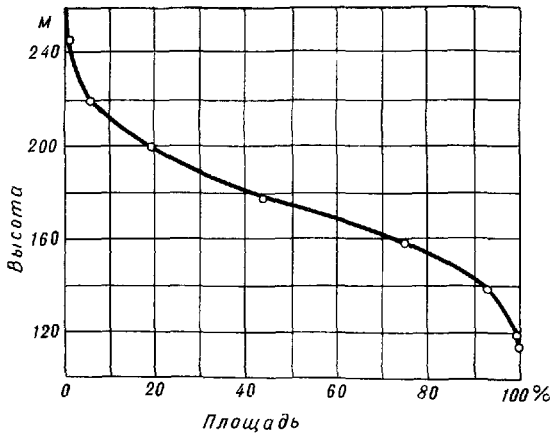


Рис. 1.10. Гипсографическая кривая бассейна р. Каменки.

Как указывалось в § 1.7, по гипсографической кривой можно определить среднюю высоту водосбора. Для этой цели применяется формула

$$H_{ср} = \frac{F'}{F}, \qquad (1.12)$$

где $H_{ср}$ — средняя высота в *км* или *м*; F' — площадь, ограниченная осями координат и гипсографической кривой, в $м^3$; F — общая площадь водосбора в $м^2$.

§ 1.10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗВЕШЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОЗЕРНОСТИ

Вычисление взвешенного коэффициента озерности $P_{взв}$ (в %) производится по обычной формуле взвешивания

$$P_{взв} = \frac{S_1 f_1 + S_2 f_2 + \ldots + S_n f_n}{F^2} \cdot 100, \qquad (1.13)$$

где $S_1, S_2, \ldots, S_n$ — площади зеркала озер в $км^2$; $f_1, f_2, \ldots, f_n$ — площади водосбора озер в $км^2$; F — площадь водосбора реки до замыкающего створа в $км^2$.

Площади зеркала озер и площади их водосборов определяются по топографическим картам крупного (для водосборов, не превышающих 500—700 $км^2$, с наличием преимущественно мелких озер) и среднего (для больших водосборов) масштаба.

Порядок работы рекомендуется следующий:

а) после выбора масштаба топографической карты подбирают листы рабочей карты, полностью покрывающие площадь водосбора реки;

б) намечают отдельные озера или группу мелких озер, площади водосборов которых необходимо определить, и наносят на карту границы водосборов выбранных озер;

в) с помощью палетки или планиметра определяют площади зеркала озер и их водосборов; при этом в площадь водосбора озер включают и площадь его зеркала; площади отдельных измеренных водосборов озер должны быть обязательно увязаны с общей площадью водосбора реки для рассматриваемого замыкающего створа.

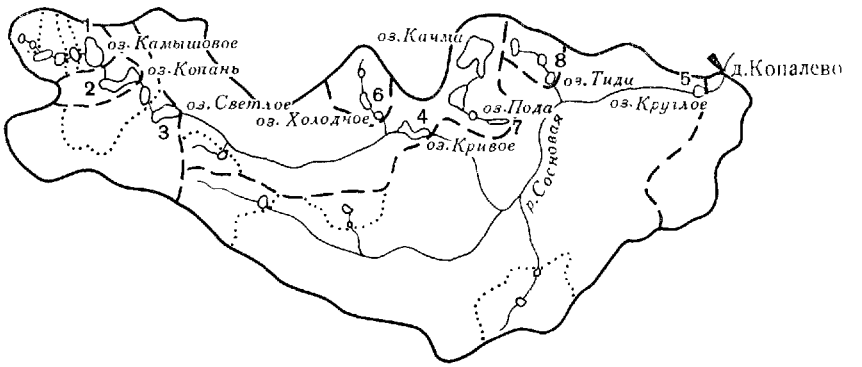


Рис. 1.11. Схема бассейна р. Сосновой до створа Копалево.

Ниже приведен пример определения взвешенного коэффициента озерности р. Сосновой до створа р. Копалево, имеющей площадь водосбора 6020 $км^2$. Схема бассейна представлена на рис. 1.11, а исходные данные, полученные по правилам, изложенным выше, приведены в табл. 1.14.

В табл. 1.14 в графе 3 для группы озер дается суммарная площадь их зеркала; величины площадей округляются до 1 $км^2$. В графе 4 для озер, через которые протекает главная река, площадь водосбора дается нарастающим итогом, т. е. в площадь водосбора оз. Копань (340 $км^2$) включена площадь водосбора оз. Камышевого (240 $км^2$), в площадь водосбора оз. Светлого (980 $км^2$) — площадь водосбора оз. Копань (340 $км^2$) и т. д. (см. табл. 1.14, бассейны № 1–4 и 6).

Полученные в графе 5 значения подставляют в формулу (1.13) и вычисляют взвешенный коэффициент озерности $P_{взв}$. Озерность вычисляется с точностью до 0,01%; в нашем случае коэффициент $P_{взв}$ равен 0,21%.

При выделении частных водосборов озер необходимо учитывать следующее:

Таблица 1.14

Ведомость определения взвешенного коэффициента озерности

р. Сосновая — д. Копалево

№ бассейна озера	Название (количество) озер	Площадь, км²		Произведение Sf
		зеркала озера S	водосбора озера f	
1	2	3	4	5
1	оз. Камышевое и пять озер без названий . .	25	210	6 000
2	оз. Копань	14	310	4 760
3	оз. Светлое и одно озеро без названия . .	13	980	12 740
4	оз. Кривое	9	2100	18 900
5	оз. Круглое	3	5700	17 100
6	оз Холодное и два озера без названия . . .	11	150	1 650
7	оз. Качма, Пода и два озера без названия	44	260	11 440
8	оз. Тида и два озера без названия	10	113	1 130
9	Свободная площадь . .	—	320	—
	Сумма		6020	73 720

1. Величина взвешенного коэффициента озерности сильно меняется в зависимости от положения озера в бассейне. Так, например, если озеро находится в верхней части бассейна

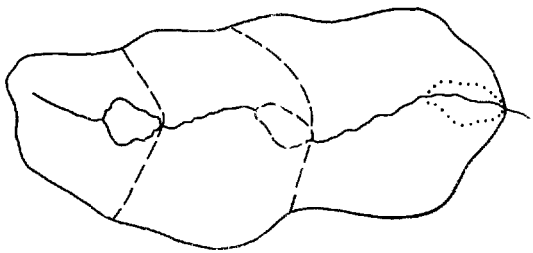


Рис. 1.12. Схема различного расположения озер на водосборе.

(рис. 1.12), то $P_{взв}=0{,}89\%$; если это же озеро находится в средней части бассейна (озеро показано прерывистой линией), то $P_{взв}=1{,}80\%$; если в нижней части бассейна (озеро показано точечной линией), то $P_{взв}=2{,}70\%$, т. е. в три раза выше первоначальной величины.

2. Коэффициент озерности меняется и в тех случаях, когда значительная группа озер, через которые протекает главная река,

обобщается в один водосбор без разбивки их на более мелкие водосборы. Например, если взять в качестве замыкающего створа выход р. Сосновой из оз. Кривого (см. рис. 1.11) и вычислить $P_{взв}$ без разбивки озер, расположенных в верхнем ее течении, на отдельные водосборы, то получим

$$P_{взв} = \frac{52 \cdot 980 + 9 \cdot 2100}{2100^2} \cdot 100 - \frac{6986}{4410} = 1{,}58\%.$$

Если группу озер разбить на отдельные бассейны так, как показано на рис. 1.11 (прерывистая линия), то $P_{взв}=0{,}96\%$.

При разбивке на еще более мелкие бассейны (на схеме их границы показаны точечной линией) величина коэффициента $P_{взв}$ изменится, но уже незначительно; в нашем случае она будет равна 0,90%.

Следовательно, в каждом отдельном случае надо учитывать как расположение, так и размер озер и прежде чем окончательно наметить границы озерных водосборов необходимо путем предварительной прикидки узнать величину произведения Sf и в зависимости от ее величины включать в расчет или отдельное озеро, или какую-то группу озер.

3. Мелкие озера на притоках главной реки мало влияют на величину $P_{взв}$. Так, например, для створа Копалево (см. рис. 1.11) с учетом всех озер на притоках р. Сосновой $P_{взв}=0{,}21\%$, а без учета их $P_{взв}=0{,}20\%$.

Значит, мелкие озера, расположенные на притоках главной реки, при вычислении $P_{взв}$ можно не учитывать.

Как следует из изложенного, при определении гидрографических характеристик водосборов и речной сети по карте целесообразно одновременно производить измерения, необходимые для получения ряда характеристик.

Так, например, при измерении длины реки следует одновременно определять и расстояния до устьев притоков, которые в дальнейшем потребуются для различных построений, в частности для построения гидрографической схемы реки и идограммы бассейна. При определении площадей водосборов притоков целесообразно попутно произвести измерения площадей межприточных участков, данные о которых будут необходимы для построения графика нарастания площади водосбора по длине реки, и т. д.

Глава 2

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧНЫХ ВОДОСБОРОВ

§ 2.1. ОБРАБОТКА СНЕГОМЕРНЫХ СЪЕМОК И ВЫЧИСЛЕНИЕ ЗАПАСОВ ВОДЫ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ

Цель снегомерных съемок — определить запасы воды в снежном покрове.

Во время снегомерных съемок измеряется высота и плотность снежного покрова, толщина ледяной корки и слой воды на почве, а также определяется состояние поверхности почвы (талая или мерзлая), степень покрытия почвы снегом.

Высота снежного покрова измеряется по постоянным и переносным рейкам.

Плотность снега в точке d (в $г/см^3$) определяется с помощью стандартного походного весового снегомера, состоящего из цилиндра высотой 60 *см* с крышкой, весов и лопаточки, и вычисляется по формуле

$$d = \frac{m}{v}, \tag{2.1}$$

где m — масса воды в снеге в граммах; v — объем взятой пробы снега в $см^3$.

Так как площадь поперечного сечения цилиндра снегомера равна 50 $см^2$, а каждое деление линейки весов соответствует 5 *г*, формула (2.1) может быть представлена в следующем виде:

$$d = \frac{5m}{50h} = \frac{m}{10h}, \tag{2.2}$$

где m — отсчет по линейке весов; h — отсчет по шкале цилиндра.

Таким образом, для вычисления величины плотности снега надо число делений, отсчитанное по линейке весов, разделить на увеличенный в 10 раз отсчет по шкале цилиндра снегомера. Деление производится до третьего десятичного знака, а результат округляется до сотых долей.

Пример 2.1 Высота пробы снега $h=33$ *см*; число делений по линейке весом $m=68$; плотность равна

$$d=\frac{m}{10h}=\frac{68}{330}=0{,}206=0{,}21\ г/см^3.$$

По данным о величине плотности снега d и высоте снежного покрова h вычисляется запас воды в снеге y, т. е. высота слоя воды, которая содержится в снежном покрове и при его таянии пойдет на увлажнение почвы и сформирует сток,

$$y=10dh\ мм, \tag{2.3}$$

где h — высота снежного покрова в *см*; d — плотность снега в $г/см^3$.

Пример 2.2. По данным измерений высота снежного покрова $h=24$ *см*, плотность снега $d=0{,}33$ $г/см^3$. Запас воды в снеге $y=10\cdot 0{,}33\cdot 24=79$ *мм*.

Различают следующие основные виды наблюдений над снежным покровом: 1) ежедневные наблюдения и 2) ландшафтно-маршрутные снегомерные съемки. Производятся также специальные снегосъемки.

Ежедневные наблюдения над снежным покровом производятся по постоянным рейкам, установленным в пределах метеорологической площадки станции (поста) или вблизи нее.

Ландшафтно-маршрутные снегосъемки производятся по линейным маршрутам. Основными видами ландшафта являются: поле (открытые безлесные участки местности шириной не менее 500 *м*, занятые различными сельскохозяйственными угодьями — луга, клеверища, озими, зяблевая пахота, стерня, целина и пр.), ложбины и небольшие заболоченные участки (тундра, степь, пустыня), лес (различной породы и густоты, массивы кустарника, облесенные болота; в степных районах — фруктовые сады, лесные колки) и овраги (балки, лога).

Объем снегомерных работ на маршрутах приводится в табл. 2.1.

В балках и оврагах снегомерные съемки производятся по двум—пяти поперечникам общей протяженностью 200—500 *м*. При ширине оврага до 100 *м* расстояние между поперечниками должно составлять 100 *м*, а в более широких оврагах (балках) расстояние между поперечниками должно быть не менее ширины оврага. Пример записи измерений приведен в табл. 2.2.

На полевом маршруте высота снежного покрова в пересекаемых маршрутом балках (оврагах) не измеряется и переходы через балки (овраги) не включаются в общую длину полевого маршрута.

Плотность снежного покрова в каждой точке определяется один раз. При высоте снежного покрова менее 5 *см* пробы на плотность не берутся.

Средняя высота снежного покрова (в *см*) по ландшафтному маршруту определяется как среднее арифметическое из суммы

Таблица 2.1

Вид угодий	Длина маршрута, *м*	Место измерений		Количество измерений	
		высоты снега	плотности снега	высоты	плотности
Поле (большие открытые участки)	2000	Через 20 *м*	Через 200 *м* (в каждой десятой точке измерения высоты)	100	10
Лесные районы (на небольших полях среди лесов)	1000	Через 20 *м*	Через 100 *м* (в каждой пятой точке измерения высоты)	50	10
Лес	500	Через 10 *м*	Через 100 *м*	50	5
Балки и овраги	до 200 *м*[1]	Через 5 *м* по двум поперечникам	Не определяется	До 40	—
То же	более 200 *м*[1]	Через 10 *м* по двум поперечникам	Не определяется	20 и более	—

[1] *Общая протяженность маршрута по двум поперечникам.*

всех измеренных высот, включая и те случаи, когда высота оказалась малой (запись «0») или снег в точке измерений отсутствовал.

Средняя плотность снега вычисляется делением суммы плотностей на число фактических измерений с округлением до сотых долей.

В тех случаях, когда в точках определения плотности снега наблюдалась ледяная корка на почве, запас воды вычисляется отдельно для снега и ледяной корки. Для снега он вычисляется по средним значениям высоты и плотности, а для ледяной корки — по средней ее толщине (сумма значений толщины корки, измеренной во всех точках определения плотности снега, делится на число точек определения плотности, включая и те точки, в которых корки не было). Запас воды в ледяной корке определяется путем умножения ее средней толщины на плотность ледяной корки, которая принимается равной 0,8.

При наличии в точках определения плотности воды со снегом вычисляется средняя высота ее слоя путем деления суммы измеренных величин на полное число точек измерения плотности снега. Для вычисления запаса воды средний слой воды со снегом умножается на $(1 - d) \cdot 10$, где d — средняя по маршруту плотность снега, не насыщенного водой

$$y = x(1 - d) \cdot 10. \qquad (2.4)$$

Таблица 2.2

Снегомерная съемка в балке

Снегосъемка 20 января 1960 г.

Время производства съемки: начало 12 час. 30 мин.
конец 13 час. 45 мин.

Поперечник № 1

Ход от правой бровки через балку
Высота снежного покрова в *см*
Промеры через 10 *м*

№ промерной точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Визуальные наблюдения
00	25	35	37	23	15	23	28	35	68	77	Снег залегает неравномерно
10	55	61	63	68	85	111	127	131	105	82	
20	42	8									

Сумма 1303 Число промеров 22

На правом склоне
сумма высот 545
число промеров 13

На левом склоне
сумма высот 758
число промеров 9

Поперечник № 2

Ход от левой бровки через балку
Высота снежного покрова в *см*
Промеры через 10 *м*

№ промерной точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Визуальные наблюдения
00	9	9	13	18	15	10	12	18	13	21	У левой бровки наносы снега
10	28	23	29	37	48	50	52	63	89	147	
20	165	211	102	51	6						

Сумма 1239 Число промеров 25

На правом склоне
сумма высот 405
число промеров 17

На левом склоне
сумма высот 834
число промеров 8

Средняя высота по поперечникам (от бровки до бровки) 54 *см*
Максимальная высота снега в логу 211 *см*
Средняя из максимальных высот по поперечникам 171 *см*
Средняя плотность снега в поле (по полевому маршруту) 0,22 *г/см*^{3}
Запас воды в снеге 119 *мм*

Общий запас воды на снегомерном маршруте равен сумме запасов воды: а) в снеге, б) в ледяной корке на почве и в) под снегом.

Пример 2.3. По данным снегомерной съемки, произведенной в 10 точках, получена средняя высота снежного покрова на маршруте $h_1=28$ *см* и средняя плотность $d=0{,}22$ *г/см*^{3}. В четырех точках наблюдалась ледяная корка толщиной $h_2=10$, 5, 8 и 7 *мм* и в трех точках — вода со снегом $h_3=6$, 1 и 4 *см*.

Требуется определить общий запас воды на маршруте.

1. Запас воды в снеге на маршруте составит

$$y_1 = 10h_1d = 10 \cdot 28 \cdot 0{,}22 = 61{,}6 = 62 \text{ мм}.$$

2. Запас воды в ледяной корке

$$y_2 = 0{,}8\frac{\sum h_2}{10} = 0{,}8\frac{10+5+8+7}{10} = 0{,}8 \cdot 3{,}0 = 2{,}4 \text{ мм}.$$

3. Запас воды в слое снега, насыщенного водой,

$$y_3 = 10\frac{\sum h_3}{10}(1-d) = 10\frac{6+1+4}{10}(1-0{,}22) = 8{,}6 \text{ мм}.$$

4. Общий запас воды в снеге на маршруте

$$y = 62 + 2{,}4 + 8{,}6 = 73 \text{ мм}.$$

Степень покрытия маршрута снежным покровом, ледяной коркой на почве и водой под снегом определяется в баллах путем раздельного подсчета точек, в которых наблюдался снег, ледяная корка и вода под снегом. Для перевода в баллы число точек умножается на 10 и делится на общее число сделанных определений (включая и те точки, в которых отсутствовал снег, ледяная корка и вода под снегом).

Средняя высота снежного покрова в балке (овраге, логу) вычисляется как частное от деления сумм высот снежного покрова на всех промерных точках (по всем поперечникам) на число всех измерений, включая и те точки, на которых снега не оказалось. Запас воды в снеге определяется как произведение средней высоты снежного покрова, измеренного в балке (овраге), на величину средней плотности снега, определенной по измерениям на полевом маршруте за ту же дату.

Рассмотрим на следующих примерах полное вычисление характеристик снежного покрова.

Пример 2.4. В табл. 2.3 помещены результаты измерений при ландшафтно-снегомерной съемке на полевом участке в районе станции Снежной.

На основании данных этой таблицы имеем:

а) высота снежного покрова

средняя $\frac{1399}{100} = 14$ *см*,

наибольшая 38 *см*,

наименьшая 0 *см*,

б) средняя плотность снега 0,16 *г/см*^{3};

Таблица 2.3

Результаты ландшафтно-снегомерной съемки в районе станции Снежной

Год 1964 Маршрут — полевой
Месяц декабрь Длина маршрута — 2 км
Число 31

Время производства снегосъемки: начало 9 час. 10 мин.
конец 10 час. 55 мин.

Высота снежного покрова, *см*

№ точки измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Сумма
00	9	10	8	13		6	7	0	19	19	91
10	18	31	13	10	10	11	10	15	7	8	133
20	11	9	14	11	8		18	11	10	10	102
30	17	9	23	25	22	14	15	9	7	23	164
40	14		38	30	18	21	18	20	11	10	180
50	20	20	20	21	18	21		11	11	13	155
60	18		8	10	8	8	28	18	17	8	123
70	10	14	16	0	15	26	23	14	13	20	151
80	20	23	22	25	13	11	13	10	5	5	147
90	15	26	15	5	13	27		19	19	14	153
Сумма	152	142	177	150	125	145	132	127	119	130	1399

Средняя высота 14 Наибольшая 38 Наименьшая 0

Степень покрытия маршрута снегом по числу точек (в баллах) 9

Плотность снега, *г/см*^{3}

Отсчет по шкале цилиндра h *см*	Отсчет по линейке весов m	Плотность $d=\frac{m}{10h}$	Толщина ледяной корки на поверхности почвы, *мм*	Состояние поверхности почвы	Наличие снежной корки на поверхности и внутри снежного покрова и слоя воды под снегом, *см*
10	15	0,15	5	Мерзлая	
19	25	0,13		Талая	
11	10	0,09		Талая	
16	25	0,16	8	Мерзлая	
16	23	0,14		Мерзлая	
21	63	0,30	5	Мерзлая	2 вода
18	20	0,11	6	Мерзлая	
9	19	0,21	6	Мерзлая	
22	59	0,27		Мерзлая	6 вода
14	11	0,08	5	Мерзлая	

Средняя плотность снега 0,16 Запас воды в снеге 22 *мм*

Средняя толщина ледяной корки 4 *мм*. Средний слой воды под снегом 0,8 *см*

Общий запас воды 22+3+7=32 *мм*

Степень покрытия маршрута ледяной коркой на почве (в баллах) 6

Степень покрытия маршрута водой под снегом (в баллах) 2

в) запас воды в снеге $10 \cdot 0{,}16 \cdot 14 = 22$ *мм*;
г) средняя толщина ледяной корки 4 *мм*;
д) запас воды в ледяной корке $4 \cdot 0{,}8 = 3{,}2$ *мм*;
е) средний слой воды под снегом 0,8 *мм*;
ж) запас воды под снегом $0{,}8 \cdot (1 - 0{,}16) \cdot 10 = 6{,}7$ *мм*;
з) общий запас воды $22 + 3 + 7 = 32$ *мм*;
и) степень покрытия маршрута снегом по числу точек $\frac{94 \cdot 10}{100} = 9$ баллов
к) степень покрытия ледяной коркой $\frac{6 \cdot 10}{10} = 6$ баллов;
л) степень покрытия маршрута водой под снегом $\frac{2 \cdot 10}{10} = 2$ балла.

На основании данных снегосъемок, полученных по маршрутам на различных элементах ландшафта (поле, лес, балки, овраги), вычисляется общий средневзвешенный запас воды на почве на территории района станции.

Для определения снегозапасов в районе станции необходимо знать процентное соотношение площадей основных элементов ландшафта. Это соотношение определяется по картам, схемам или планам с помощью палетки, имеющей размеры квадрата 10×10 *см* для карт и планов наиболее крупных масштабов и 5×5 *см* для мелкомасштабных карт.

Соотношение площадей, занимаемых полем и лесом, определяется палеткой визуально с точностью до 5%. Площади балок, оврагов и логов определяются в пределах квадрата палетки планиметром с точностью до 1%; площади населенных пунктов, водоемов и рек, дорог, а также лесов и оврагов, занимающих в отдельности 1% и менее, относятся к полю. Соотношение площадей элементов ландшафта выражается в сотых долях.

Пример 2.5. На основании изучения карт и планов получено следующее распределение площадей элементов ландшафта в районе станции (поста): поле — 55%, пруды, дороги, населенные пункты — 5%, лес и кустарник — 32%, балки, овраги и лога — 8%. (Общая площадь района станции составляет 880 *км*^{2}.)

По данным измерений при снегосъемках общий запас воды по маршрутам составляет: в поле — 84 *мм*, в лесу — 115 *мм*, в балках и оврагах — 177 *мм*.

Общий средневзвешенный запас воды на почве для района станции (поста) составит сумму из трех произведений:

$$84 \cdot 0{,}60 + 115 \cdot 0{,}32 + 177 \cdot 0{,}08 = 50 + 37 + 14 = 101 \text{ мм}.$$

Имея аналогичные данные о запасах воды по ряду станций на речном водосборе и площадях районов этих станций, средневзвешенный запас воды на почве для этого водосбора вычисляется следующим образом.

Пусть, например, требуется определить общий запас воды на речном водосборе площадью 5260 *км*^{2}, на котором расположены четыре станции. Площади районов станций и соответствующие им запасы воды приведены в табл. 2.4. Средневзвешенный по водосбору общий запас воды на почве составит:

$$\frac{100 \cdot 1100 + 85 \cdot 720 + 148 \cdot 2560 + 101 \cdot 880}{5260} = \frac{639\,100}{5260} = 122 \text{ мм}.$$

Таблица 2.4

№ станции	Средневзвешенный общий запас воды по району станции (поста), *мм*	*Площади районов* станций и постов, *км²*
1	100	1100
2	85	720
3	148	2560
4	101	880

При специальных исследованиях снежного покрова в период снеготаяния точки измерений высоты и плотности снега распределяются равномерно по экспериментальному участку (размеры которого могут быть различными) и назначаются в количестве, достаточном для получения средних характеристик снежного покрова на исследуемом участке (водосборе).

Для построения интегральной кривой распределения (обеспеченности) запасов воды в снеге (а в случае необходимости и высоты снежного покрова) на участке (водосборе) производится подсчет запаса воды в каждой точке измерения высоты снежного покрова; при этом плотность снега в промежуточных точках вычисляется путем интерполяции указанных фактических величин.

По полученным величинам составляется таблица распределения запасов воды (высоты) в снежном покрове. Для этой цели вся амплитуда изменения запасов воды (высоты) снежного покрова разбивается на ряд (10—15) равных интервалов, которые записываются в таблице в убывающем порядке, и подсчитывается число точек n с величинами запаса (высоты), попадающими в соответствующий интервал. Затем число точек в каждом интервале выражается в процентах от общего числа точек наблюдений высоты снега и производится их последовательное суммирование ($\Sigma n\%$). По полученным $\Sigma n\%$ строится интегральная кривая распределения запасов воды в снеге (высоты снега) на участке (водосборе): по оси ординат откладывается величина запаса воды (высоты) снежного покрова по значениям нижней границы интервала, а по оси абсцисс — соответствующие им $\Sigma n\%$ (рис. 2.1).

Принимая значения n пропорциональными величине площади участка (водосбора), можно считать, что ось абсцисс характеризует также процентное распределение снегозапасов (высоты снежного покрова) по площади участка (водосбора).

Пользуясь интегральной кривой распределения снегозапасов (высоты снежного покрова), можно определить процент площади участка (водосбора), которая обеспечена заданной величиной снегозапасов (высоты снега).

По материалам снегосъемок на участке (водосборе) могут быть построены также изолинии высоты снежного покрова, его плотности и запасов воды в снеге.

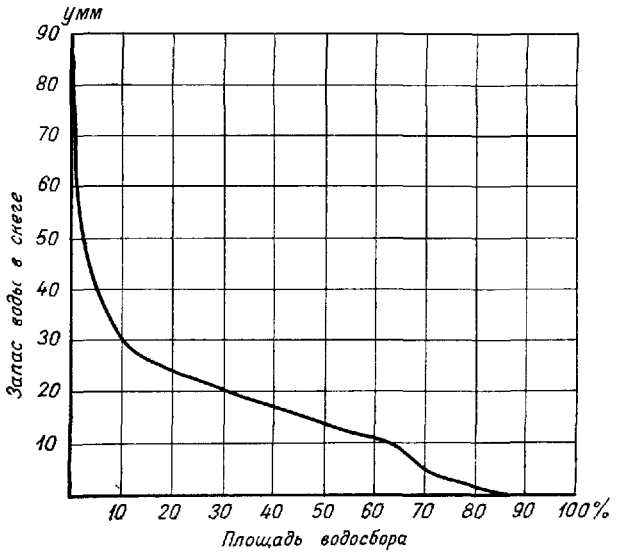


Рис. 2.1. Интегральная кривая распределения запасов воды в снеге на водосборе руч. Заячьего по снегосъемке 27/II 1951 г.

Таблица 2.5

Распределение запасов воды в снежном покрове (по интервалам)
Водосбор руч. Заячьего, 27 II 1951 г.

Запас воды, *мм*	Число точек в интервале	Последовательная сумма точек		Запас воды, *мм*	Число точек в интервале	Последовательная сумма точек	
		число	%			число	%
1	2	3	4	1	2	3	4
(наиб. 86)				45,0—40,1	7	22	5,1
90,0—85,1	1	1	0,2	40,0—35,1	7	29	6,7
85,0—80,1	1	2	0,5	35,0—30,1	14	43	10,0
80,0—75,1	0	2	0,5	30,0—25,1	31	74	17,2
75,0—70,1	2	4	1,0	25,0—20,0	64	138	31,9
70,0—65,1	1	5	1,2	20,0—15,1	61	199	46,1
65,0—60,1	1	6	1,4	15,0—10,1	78	277	64,1
60,0—55,1	3	9	2,1	10,0—5,1	27	304	70,3
55,0—50,1	0	9	2,1	5,0—0,1	85	389	90,1
50,0—45,1	6	15	3,5	наим. 0	43	432	100

Пример 2.6. Построить интегральную кривую распределения запасов воды в снеге на водосборе руч. Заячьего по снегосъемке 27 II 1951 г. и определить процент площади, на которой запас воды в снеге равен его средней величине на водосборе.

По данным снегосъемки (исходная таблица здесь не приводится), характеристики снежного покрова определялись в 432 точках наблюдений. При этом наибольший запас воды в снеге составил 86 *мм*, наименьший — 0, средний — 15 *мм*.

Разбиваем диапазон изменения запасов воды в снеге (86 *мм*) на интервалы (в данном случае через 5 *мм*) и записываем границы интервалов в порядке их уменьшения в табл. 2.5 (графа 1). По исходной таблице подсчитываем число точек с величинами снегозапасов, попадающих в соответствующий интервал (графа 2), последовательно их суммируем (графа 3) и выражаем в процентах от общего числа точек (графа 4). Затем по данным граф 1 и 4 табл. 2.5 строим интегральную кривую распределения запасов воды в снеге по правилам, изложенным выше (см. рис. 2.1).

§ 2.2. ОБРАБОТКА ЛЕНТ САМОПИСЦА ДОЖДЯ

Обработка лент самописца дождя заключается в определении количества выпавших осадков и их интенсивности за те или иные промежутки времени.

Лента разграфлена системой пересекающихся вертикальных и горизонтальных линий. Вертикальные линии соответствуют определенным моментам времени, горизонтальные — количеству выпадающих осадков.

Расстояние между соседними утолщенными вертикальными линиями соответствует промежутку времени 1 час, а между тонкими линиями — 10 мин.

Расстояние между двумя соседними жирными горизонтальными линиями соответствует 1 *мм* выпавших осадков, а между тонкими линиями 0,1 *мм*. Ширина ленты рассчитана на запись без слива слоя выпавших осадков высотой 10 *мм*.

Время отсчитывается по ленте с точностью до 1 мин., а количество осадков — с точностью до 0,1 *мм*.

На рис. 2.2 приведен образец записи самописца дождя.

Из записи видно, что дождь начался в 20 час. 40 мин. и с постепенно нарастающей интенсивностью продолжался до 23 час. 47 мин., когда начал действовать сифон (слив). После действия сифона дождь продолжался с постоянной интенсивностью до 0 час. 30 мин., с этого времени и до 4 час. 50 мин. шел более слабый дождь, причем в 1 час. 35 мин. был слив сифона. За время с 20 час. 40 мин. до 23 час. 47 мин., т. е. за 3 час. 7 мин. (187 мин.) выпало до начала первого действия сифона 10 *мм*; между первым и вторым сливом сифона с 23 час. 47 мин. до 1 час. 35 мин. — за 1 час. 48 мин. (108 мин.) выпало 9,9 *мм* осадков и после второго действия сифона с 1 час. 35 мин. до 4 час. 50 мин. выпало 3,3 *мм*.

Всего с начала дождя с 20 час. 40 мин. до 4 час. 50 мин. выпало 23,2 *мм*.

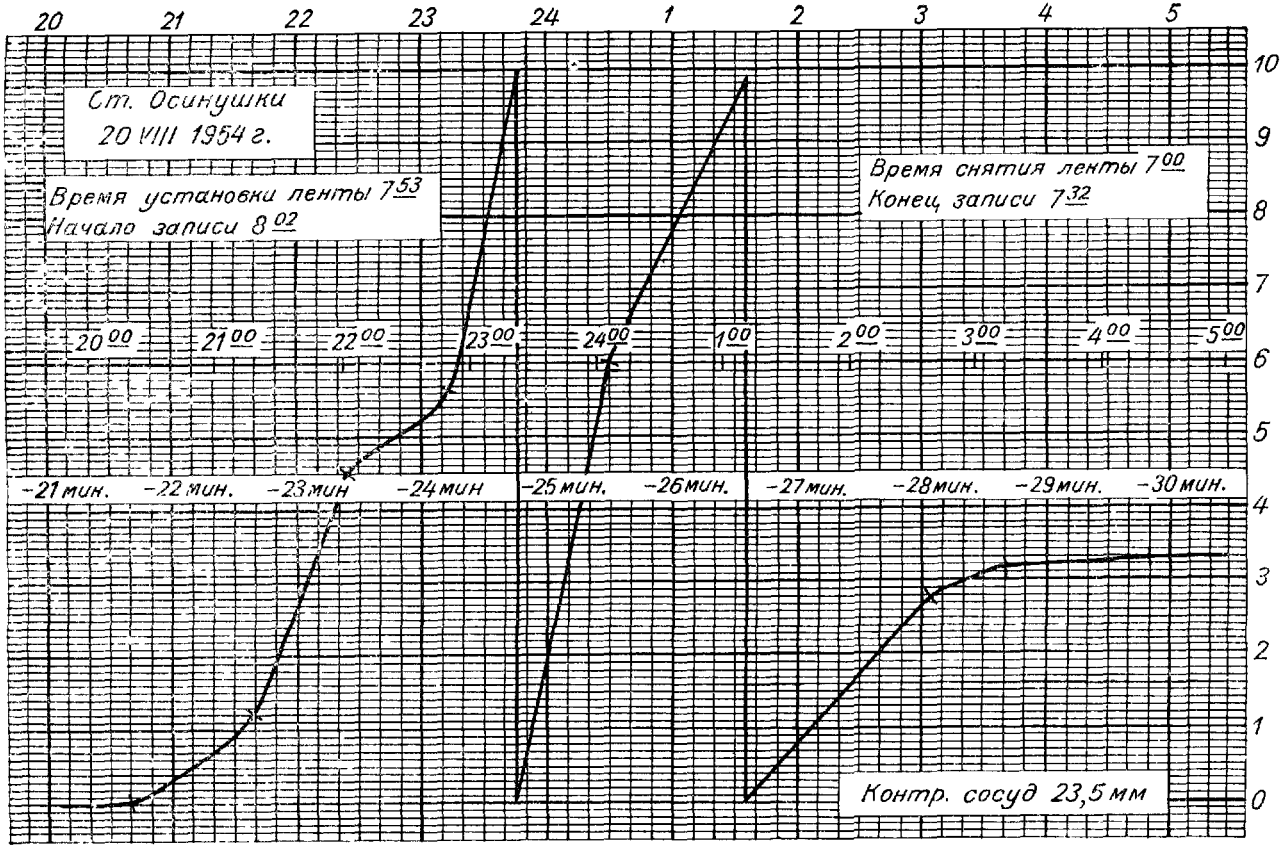


Рис. 2.2. Образец записи самописца дождя типа Гельмана.

На ленте самописца обозначено время наложения ленты на барабан прибора и время снятия ее, а также записано количество воды в контрольном сосуде после сливов сифона.

Обработка записи дождя производится двумя способами: а) по равным интервалам времени и б) по характерным точкам.

Обработка ленты по равным интервалам, например по часовым отрезкам времени, заключается в определении количества осадков за эти промежутки. При этом, если при смене ленты пишущее перо было установлено точно на том месте, где ему соответственно времени полагалось быть на ленте, и если часы барабана идут правильно, то количество осадков за часовые промежутки определяется по разности ординат в точках пересечения кривой записи с соответствующими соседними вертикальными линиями полных часов (соответственно надписям на толстых вертикальных линиях).

Например, количество осадков на рис. 2.2 между 21 и 22 часами (равное 2,4 *мм*) можно найти, если из ординаты кривой на жирной вертикальной линии, соответствующей 22 час. (2,7 *мм*), вычесть ординату кривой на вертикальной линии, соответствующей 21 часу (0,3 *мм*). Таким образом определяем количество осадков, выпавшее между 22 и 23 час.

Для промежутка 23—24 часа количество осадков находим следующим образом: отсчитав ординату в момент начала действия сифона — 10 *мм*, вычтем из нее ординату 23-часовой вертикали — 5,3 *мм*, получим количество осадков, равное 4,7 *мм*; затем из ординаты, отсчитанной на жирной вертикальной 24-часовой линии (после слива) — 2,0 *мм*, вычтем ординату, соответствующую моменту конца действия сифона, в данном случае 0,0. Складывая две полученные разности 4,7 *мм* + 2,0 *мм*, получим количество осадков (6,7 *мм*), выпавших за промежуток времени между 23 и 24 часами.

Для дальнейших часовых интервалов количество осадков определяется аналогично.

Таким же образом производится обработка записи дождя и по другим, более коротким интервалам времени — 5, 10 минут. Причем на участках с равномерным ходом записи эти интервалы могут быть увеличены.

В случае если перо не было установлено на ленте вполне точно по времени или если часы самописца шли неправильно (отставали или уходили вперед) по отношению к истинному времени, следует предварительно рассчитать действительное положение на ленте вертикальных часовых линий, соответствующих целым часам, после чего производить по ним отсчеты ординат так, как было указано.

Приведем пример подобной обработки ленты.

Пример 2.7. Положим, что запись началась в 7 час. 53 мин. (см. рис. 2.2, время установки ленты), а на ленте начало ее приходится вправо от верти-

кальной линии «8 час.» на расстоянии 2 мин. (вследствие неточной установки барабана). В этом случае первую метку времени, соответствующую 8 час., следует сделать карандашом вправо от линии «8 час.» на расстоянии 7+2= =9 мин. от нее. Положим далее, что метка времени, сделанная пером прибора при снятии (смене) ленты на другой день ровно в 7 час. утра, приходится также вправо от линии «7 час.» на расстоянии 32 мин. Следовательно, в течение суток часы прибора ушли вперед на 32 — 9=23 мин., т. е. в среднем спешили на 1 мин. в 1 час. В таком случае метки полных часов от 8 час. предыдущих суток до 7 час. последующих суток должны приходиться вправо от линии «8 час.», «9 час.», «10 час.» и т. д. на расстояниях, которые должны постепенно и равномерно увеличиваться (при отставании часов барабана уменьшаться) от 9 мин (начальное расстояние в 8 час. предыдущих суток) до 32 мин. (последнее расстояние в 7 час. последующих суток), т. е. метка в 9 час. будет приходиться вправо от линии «9 час.» на расстоянии 10 мин., метка в 10 час. будет приходиться вправо от линии «10 час.» на расстоянии 11 мин., ... метка в 20 час. будет приходиться вправо от линии «20 час.» на расстоянии 21 мин., в 21 час — на расстоянии 22 мин. и т. д. (см. рис. 2.2, верхнюю строку).

По нанесенным меткам для целых часов снимаются отсчеты осадков. В нашем примере между 21 и 22 часами количество осадков составляет 4,5— 0,7=3,8 *мм*.

Вычисленное количество осадков за дождь сравнивается с показанием контрольного сосуда, указанным на ленте. Если подсчитанное по ленте количество осадков не соответствует измеренному контрольным сосудом, то следует ввести поправку. Для этого из количества осадков, взятого по контрольному сосуду, вычитается количество осадков, измеренное на ленте. Полученная разница делится на число сливов, отмеченных на ленте, за данные сутки. Частное от деления прибавляется к каждому отсчету количества осадков, полученному по записи дождя сразу после слива. Если это частное окажется меньше 0,1 *мм*, то поправка не вводится.

Для приведенного примера (рис. 2.2) эта поправка равна

$$\frac{23{,}5-23{,}2}{2}=0{,}15 \text{ мм}.$$

Ее следует ввести к отсчету осадков в 24 часа и в 1 час.

Вычисленные количества осадков, а также продолжительности их выпадения в течение каждого часа (с точностью до 1 минуты) заносятся в месячную таблицу в виде дробей, в числителе которых ставится количество осадков в миллиметрах, а в знаменателе — продолжительность выпадения осадков в минутах.

Обработка записи дождя по характерным точкам сводится к выделению характерных (переломных) точек, для которых определяется время их наступления от начала дождя и количество осадков, выпавших от начала дождя, после чего определяется общая продолжительность дождя и суммарное количество осадков.

При обработке ленты вся запись дождя разбивается на отдельные части, сохраняющие каждая на своем протяжении

приблизительно постоянный угол наклона линии записи, т. е. на части с постоянной интенсивностью дождя.

В случае неясно выраженных моментов изменения интенсивностей рекомендуется пользоваться специальной прозрачной палеткой (рис. 2.3), на которой проведены две параллельные линии

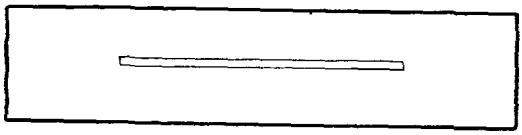


Рис. 2.3. Палетка.

на расстоянии 1,5 *мм* одна от другой. Эта палетка накладывается на кривую записи дождя таким образом (рис. 2.4), чтобы

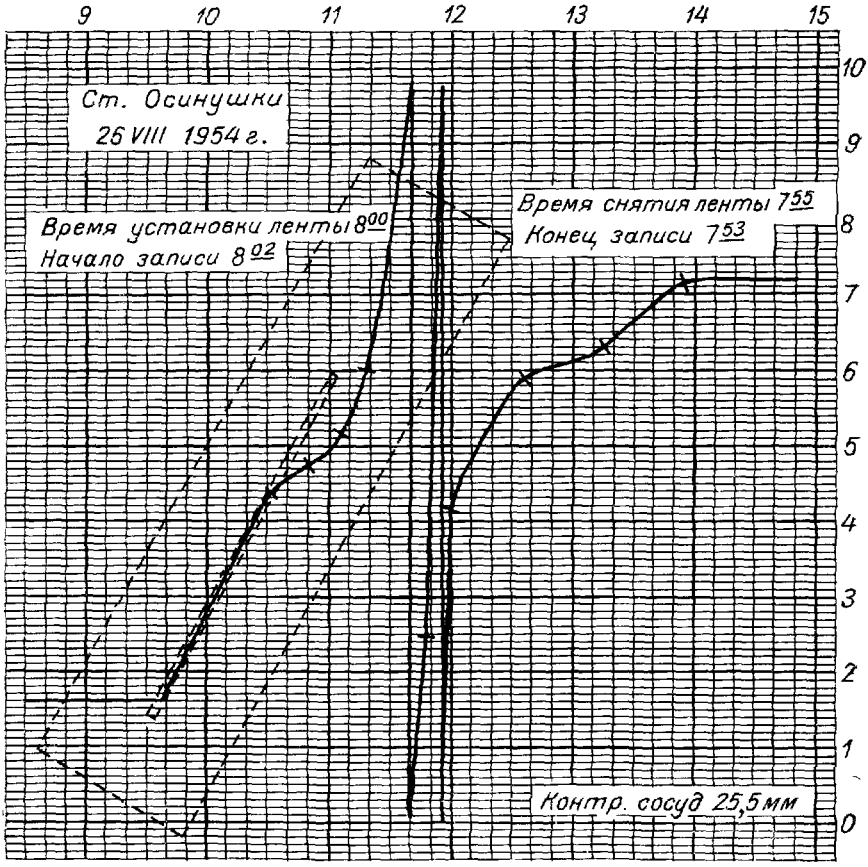


Рис. 2.4. Образец пользования палеткой.

исследуемый участок записи находился посередине между параллельными линиями палетки.

В тех местах, где кривая пересекается с параллельными линиями палетки, отмечаются точки перелома (рис. 2.2 и 2.4).

Палетка изготовляется из целлулоида; при отсутствии такой палетки ее легко вычертить на восковке.

После выделения характерных точек на кривой определяется время их наступления (часы и минуты) и производится подсчет количества осадков, выпавших с момента начала дождя, учитывая ход часов и разметку часовых линий.

Если дождь шел с перерывами, которые не превышали 1 часа, то такой дождь считается за один. Если перерывы превышали 1 час, то такие дожди считаются за отдельные.

Если необходимо определить суммы осадков, выпавших с интенсивностью, равной или менее заданной за какой-либо промежуток времени, на палетке наносится тонкая линия, наклон которой соответствует заданной интенсивности. Накладывая палетку на ленту плювиографа, сравнивают наклон линии записи прибора с наклоном образцовой линии палетки; те участки записи, наклон которых равен или меньше наклона образцовой линии, отмечают засечками и затем подсчитывают сумму осадков, выпавших с интенсивностью, равной или менее заданной за требуемый промежуток времени.

Приведем пример вычисления поправки на время при расшифровке ленты по характерным точкам.

Пример 2.8. На рис. 2 2 против каждого часа на ленте (жирная линия) выписаны со знаком минус количества минут, на которые ушли вперед часы прибора от начала установки ленты (в 7 час. 53 мин. — постоянное начало). Затем в местах переломных точек снимаются отсчеты времени по ленте, в которые вводится выписанная на ленте поправка, соответствующая данному часовому интервалу, в котором наблюдался перелом записи.

Например, начало дождя по записи соответствуст 20 час. 40 мин. В действительности же в промежуток времени с 20 до 21 часа часы прибора ушли вперед от постоянного начала на 22 мин. Следовательно, в отсчет по ленте — 20 час 40 мин. необходимо ввести со знаком минус поправку, равную 22 мин. Исправленное время — 20 час. 18 мин. будет соответствовать истинному моменту начала дождя. Для следующей переломной точки между 21 и 22 час. поправка составляет —23 мин., и истинное время ее наблюдения будет соответствовать 21 час. 17 мин. и т. д. Конец дождя в 4 часа 20 мин.

Если, как в данном случае, в течение часового промежутка наблюдалось несколько характерных точек, то в каждый отсчет вводится поправка, соответствующая данному часовому интервалу. Аналогичным способом вводится поправка на время и при обработке ленты по малым интервалам (5, 10 мин.).

В случае если часовая поправка составляет более 1 мин., величина ее для промежуточных точек находится путем интерполяции между соседними значениями для целых часов.

Таблица 26

Обработка записей дождя

ст. Осинушки

Дата выпадения дождя		Время					Сумма осадков от начала дождя, *мм*			Количество осадков на интервал, *мм*	Продолжительность интервала, мин.	Интенсивность дождя за интервал, *мм/мин*
		по ленте		поправка	исправленное							
год	число	час.	мин.		час.	мин.	по ленте	поправка	исправленная			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1954	20/VIII	20	40	—22	20	18						
		21	40	—23	21	17	1,2	--	1,2	1,2	59	0,04
		22	23	—24		59	4,2	--	4,2	3,0	42	0,07
		23	12	—25	22	47	5,5	—	5,5	1,3	48	0,03
			47	—25	23	22	10,0	—	10,0	4,5	35	0,13
		0	30	—26	0	04	16,0	0,15	16,2	6,2	12	0,52
		1	35	—27	1	12	19,9	-	21,1	4,9	68	0,07
		3	05	—28	2	37	22,7	0,15	22,0	0,9	85	0,01
			40	—29	3	11	23,1	—	23,4	1,4	34	0,01
		4	50	—30	4	20	23,2	—	23,5	0,1	69	0,00
								Всего		23,5	8 ч. 02 м.	
	26/VIII	9	38	0	9	38						
		10	32	0	10	32	2,7	-	2,7	2,7	52	0,05
			50	0		50	3,1	—	3,1	0,4	18	0,02
		11	07	0	11	07	3,5	—	3,5	0,4	17	0,02
			19	0		19	4,4	—	4,4	0,9	12	0,07
			40	0		40	8,4	—	8,4	4,0	21	0,19
			48	0		48	10,9	0,0	10,9	2,5	8	0,31
			53	0		53	18,2	—	18,2	7,3	5	1,46
		12	00	0	12	00	22,3	0,0	22,3	4,1	7	0,58
			35	0		35	24,1	—	24,1	1,8	35	0,05
		13	16	0	13	16	24,5	—	24,5	0,4	19	0,02
			53	0		53	25,4	—	25,4	0,9	37	0,02
								Всего		25,4	4 ч. 15 м.	

При несоответствии количества осадков, вычисленного по ленте, количеству осадков, измеренному контрольным сосудом, в запись вводится поправка на количество осадков тем же способом, что и при обработке по часовым интервалам.

Дальнейшая обработка записи дождя по характерным точкам применительно к анализу гидрологических явлений и расчетам заключается в вычислении количества осадков за отдельные промежутки времени и их интенсивности (количество осадков в единицу времени — *мм/мин*).

В табл. 2.6 приведен пример полной обработки записей дождя, помещенных на рис. 2.2 и 2.4.

По данным таблицы (графы 6, 7 и 13) может быть построен график хода дождя во времени (рис. 2.5), который позволяет наглядно судить о наиболее интенсивной части дождя, принимающей участие в формировании максимальных расходов дождевых паводков.

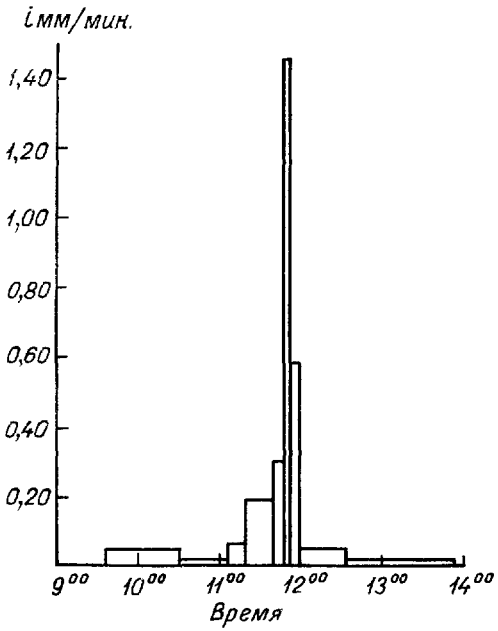


Рис. 2.5. График хода дождя во времени. Станция Осинушки, дождь 26/VIII 1954 г.

При анализе дождевых паводков и их расчетах наибольший интерес представляет обработка записей дождя по характерным точкам и по малым интервалам времени (5, 10 мин.), так как эти способы обработки дают детальное представление о ходе дождя во времени.

§ 2.3. РАСЧЕТ ДОЖДЕВЫХ ОСАДКОВ

Для расчетов максимальных расходов воды дождевых паводков необходимо иметь данные о суммах дождевых осадков и соответствующих им интенсивностях дождя за разные интервалы времени заданной обеспеченности.

Наиболее распространенным в последние годы способом определения характеристик дождевых осадков является расчет их

по уравнениям:

$$\bar{i}_T = \frac{S}{(T+1)^{2/3}} \text{ мм/мин},$$

$$H_T = \bar{i}_T T = \frac{ST}{(T+1)^{2/3}} \approx ST^{1/3} \text{ мм}, \quad (2.5)$$

где $\bar{i}$ — наибольшая средняя интенсивность дождя в *мм/мин* за интервал времени T; H_T — слой осадков за наиболее интенсивную часть дождя в *мм*; T — продолжительность наиболее интенсивной части дождя в *мин*.

При исчислении T в часах

$$H_T = S(60T)^{1/3} \text{ мм},$$

здесь S — максимальная интенсивность дождя повторяемостью один раз в N лет, выражается формулой

$$S = A + B \lg N, \quad (2.6)$$

где A и B — районные параметры.

Величины S, A и B могут быть определены по картам изолиний этих параметров (рис. 2.6—2.11) или по приложению 2, составленному З. П. Богомазовой и З. П. Петровой.

Однако, как показали исследования, проведенные в последние годы в Государственном гидрологическом институте, схематизация закономерности нарастания слоя осадков (или убывания средней интенсивности дождя) с увеличением времени их осреднения в виде уравнений $H_T = AT^n$ при постоянном показателе степени $\left(n = \frac{1}{3}\right)$ не соответствует закономерности выпадения осадков, наблюдающейся в природе. Сделанное обобщение по осадкам на территории СССР привело к выводу о том, что показатель степени $n = \frac{1}{3}$ в формуле (2.5) для различных районов Советского Союза не остается постоянным, а меняется в значительных пределах в зависимости от физико-географических условий (равнина, возвышенности, пересеченный рельеф, предгорья, морские побережья, экспозиция склонов и др. факторы).

На основе накопленных на сети материалов наблюдений над осадками по самописцам дождя в Государственном гидрологическом институте под руководством Г. А. Алексеева разработана новая методика расчета дождевых осадков. Эта методика рекомендуется во всех случаях, когда необходимо рассчитать величины осадков за различные заданные интервалы времени, и заключается в следующем.

По расшифрованным записям самописцев дождя для ряда метеостанций, расположенных в однородном климатическом районе, производится выборка за каждый год наибольших слоев осадков H_τ *мм* за интервалы времени τ, равные 5, 10, 20, ..., 720,

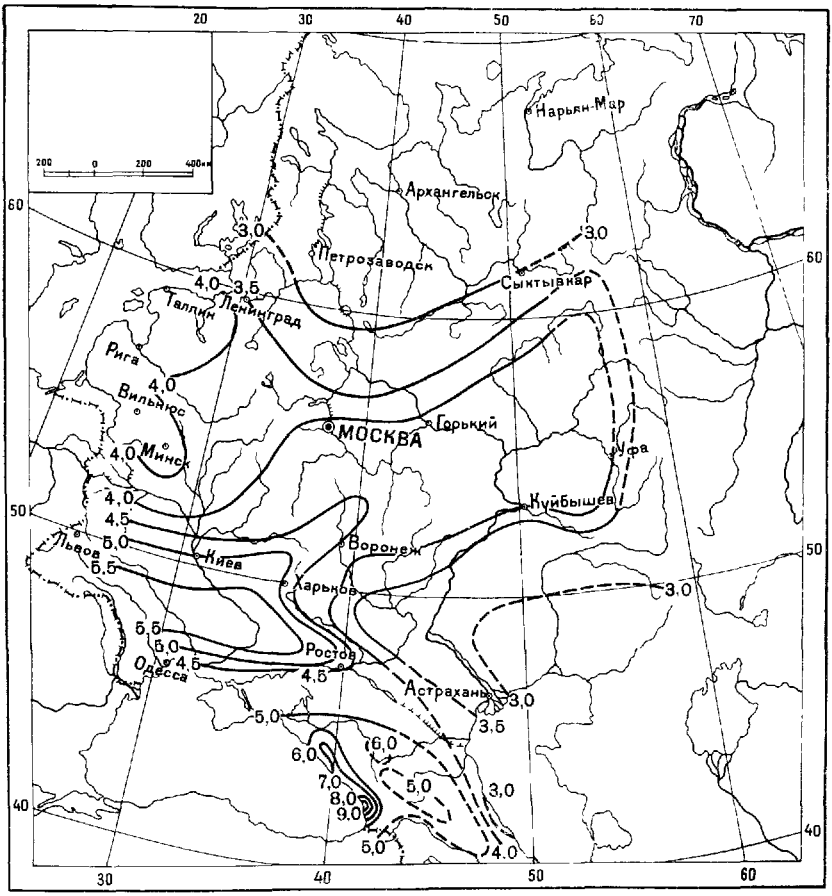


Рис. 2.6. Карта изолиний ливневого параметра S 50%-ной обеспеченности

1440 и 2880 мин., а также наибольший слой суточных осадков (по осадкомеру) H *мм*.

Выборки H_τ и H производятся за годы, по которым имеются полноценные данные по плювиографу, т. е. когда сезон работы его захватывает время выпадения наибольших в году суточных осадков и за этот период имеются расшифрованные записи наиболее интенсивных дождей и дождей с максимальным слоем осадков. За такие годы полученные выборки H_τ могут считаться действительно наибольшими.

При производстве выборок H_τ следует иметь в виду, что наибольший слой осадков H_τ за большие интервалы времени — 720, 1440 и 2880 мин. — может получаться из осадков двух или не-

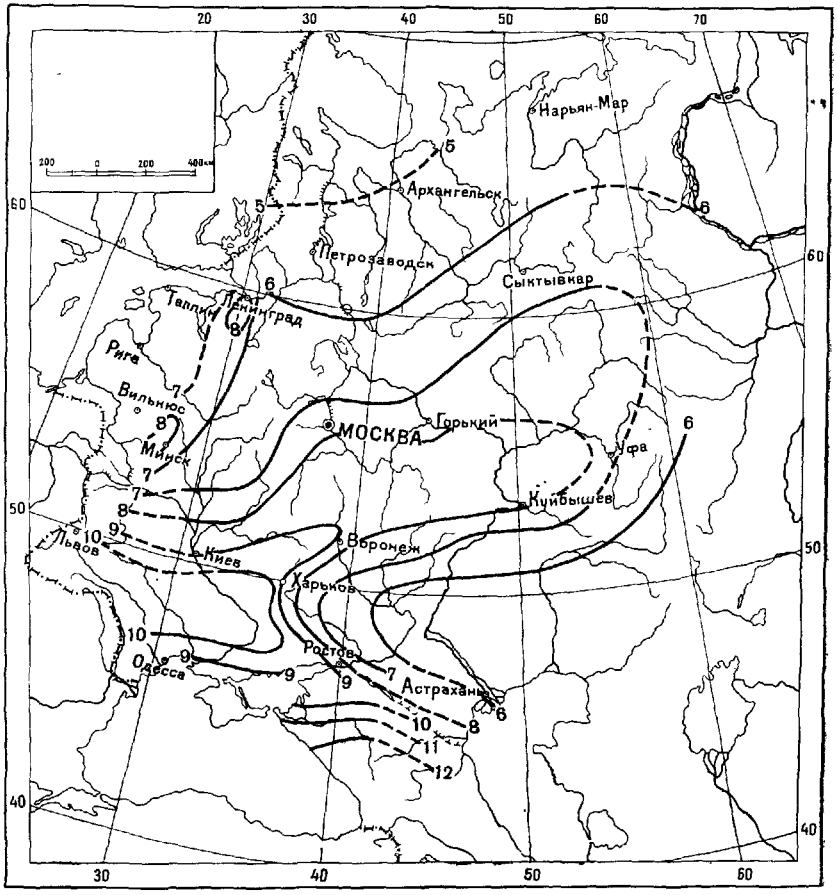


Рис. 2.7. Карта изолиний ливневого параметра S 10%-ной обеспеченности.

скольких дождей, разделенных бездождными промежутками более одного часа, но выпадающих на протяжении данного непрерывного интервала времени.

В ряде лет наибольший слой осадков H_τ за 1440 и 2880 мин., определенный по записям самописца дождя, получается меньше суточного максимума осадков по осадкомеру. В таких случаях наибольшие слои осадков H_τ за 1440 и 2880 мин. принимаются по данным осадкомера.

По выбранным данным H_τ и H составляется объединенная для всех станций (районная) таблица наибольших слоев осад-

ков и наибольших суточных осадков за каждый интервал времени τ. Значения H_τ и H располагаются в таблице в убывающем порядке для каждого τ и подсчитываются обеспеченности $p\%$

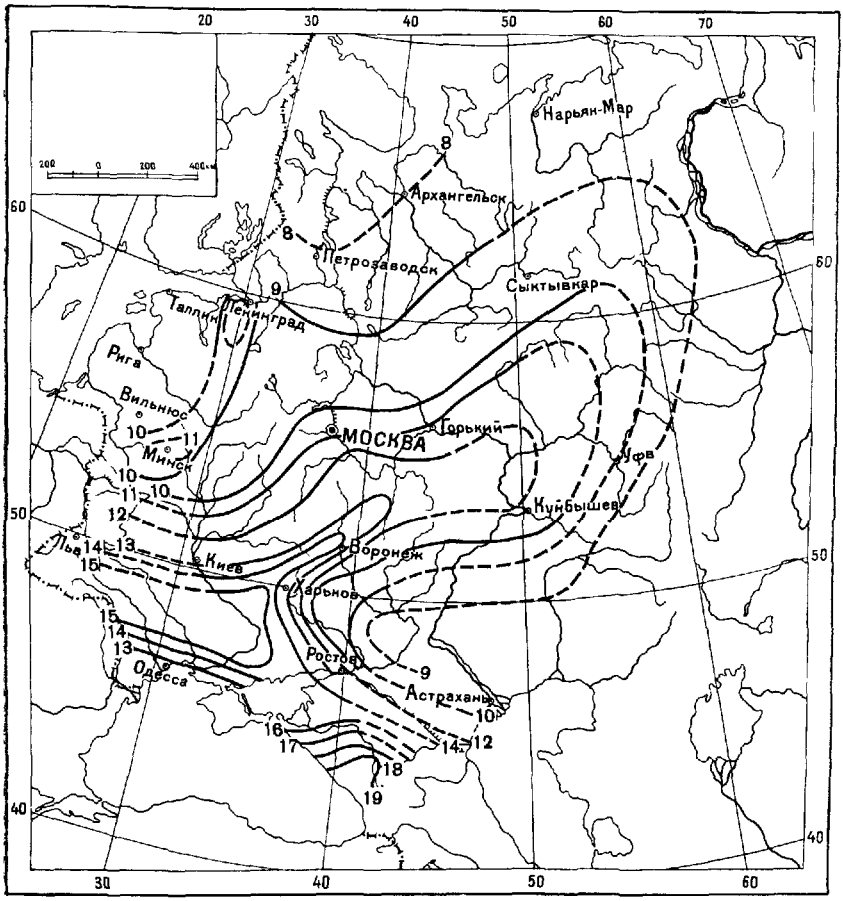


Рис. 2.8 Карта изолиний ливневого параметра S 1%-ной обеспеченности.

значений H_τ и H. Величины обеспеченности вычисляются по формуле

$$p\%=\frac{m-0{,}3}{n+0{,}4}\cdot 100, \qquad (2.7)$$

где m — порядковый номер ранжированных значений H_τ и H; n — общее число членов ряда.

В целях облегчения подсчетов $p\%$ в приложении 3 приведены значения $p\%$, вычисленные по формуле (2.7) при разных n.

На основании данных объединенной таблицы строятся на клетчатке вероятностей (рис. 2.12, приложение III) совмещенные сглаженные эмпирические кривые обеспеченности наибольших в году слоев осадков H_τ для каждого интервала времени

$$H_{\tau p} = f_1(p_1\tau), \tag{2.8}$$

а также сглаженная кривая обеспеченности суточных осадков H за те же годы наблюдений

$$H_p = f_2(p). \tag{2.9}$$

С кривой $H_p = f_2(p)$ снимаются величины наибольших суточных осадков H'_p заданной обеспеченности p'. Снятые величины округляются до ближайших значений и принимаются в качестве

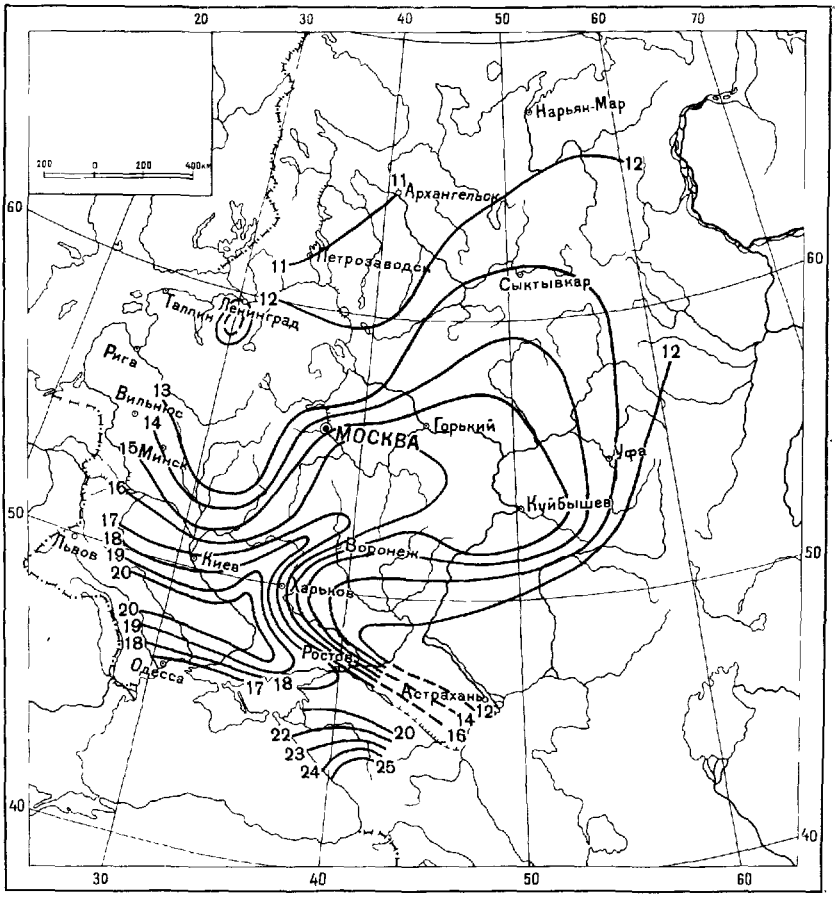


Рис. 29. Карта изолиний ливневого параметра S 0,1%-ной обеспеченности.

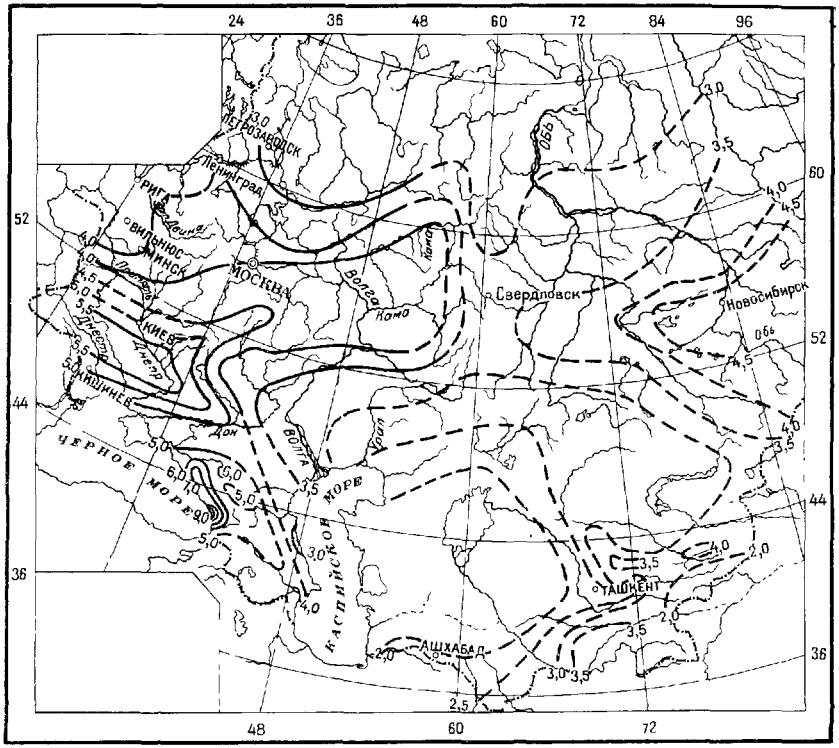


Рис. 2.10. Карта изолиний ливневого параметра A для Европейской и западной части Азиатской территории СССР.

расчетных суточных осадков H_p. Для округленных значений суточных осадков H_p по кривой $H_p = f_2(p)$ определяются соответствующие им значения обеспеченности p, близкие к заданным p'.

По значениям p для округленных значений суточных осадков с абаки (семейства) кривых обеспеченности $H_{\tau p} = f_1(p, \tau)$ снимаются наибольшие слои осадков $H_{\tau p}$ за каждый интервал времени τ. Таким образом получаем равнообеспеченные величины $H_{\tau p}$ и H_p.

По величинам отношений равнообеспеченных слоев осадков $H_{\tau p}$ к суточным осадкам H_p за все принятые интервалы времени на логарифмической клетчатке строятся сглаженные кривые нарастания слоя осадков $H_{\tau p}$ с увеличением интервала времени их осреднения τ для ряда значений обеспеченности p

$$\psi_p(\tau) = \frac{H_{\tau p}}{H_p}. \qquad (2.10)$$

Эти кривые (рис. 2.13) получили название районных кривых редукции слоя осадков и являются основными районными расчетными зависимостями, характеризующими закономерности увеличения слоя осадков $H_{\tau p}$ с возрастанием интервала времени τ при любом значении суточных осадков H_p.

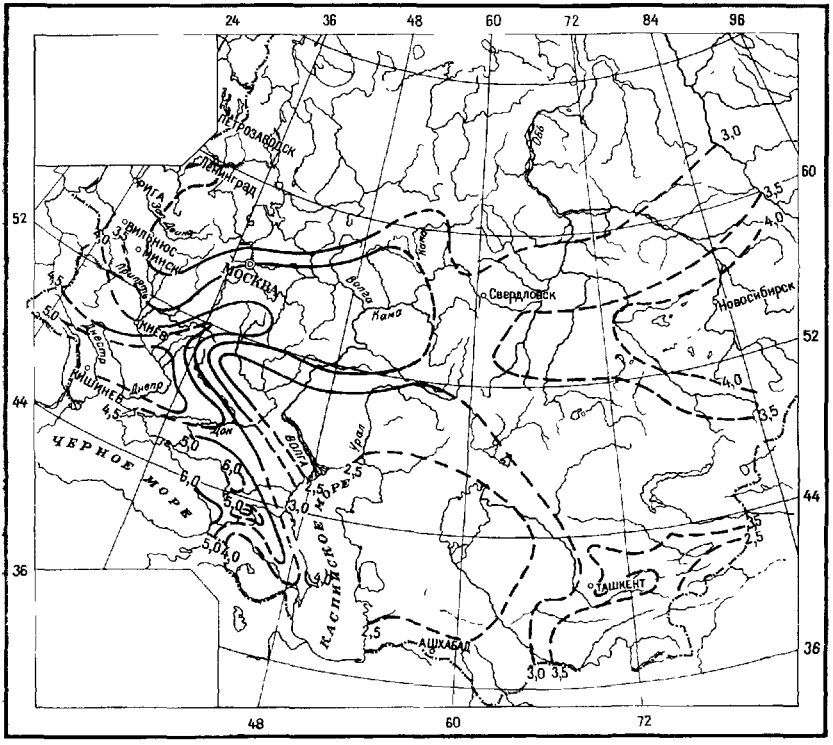


Рис. 2.11 Карта изолиний ливневого параметра B для Европейской и западной части Азиатской территории СССР.

Зная слой суточных осадков заданной обеспеченности H_p, с помощью расчетных кривых редукции слоя осадков определяется (путем интерполяции по слою осадков H) соответствующая величина отношения $\frac{H_{\tau p}}{H_p} = \psi_p(\tau)$, а отсюда расчетный слой осадков заданной обеспеченности $H_{\tau p}$ за любой интервал времени будет равен

$$H_{\tau p} = H_p \psi_p(\tau). \qquad (2.11)$$

Средняя интенсивность осадков $\overline{J_{\tau p}}$ для каждого интервала времени τ той же обеспеченности $p\%$ может быть определена

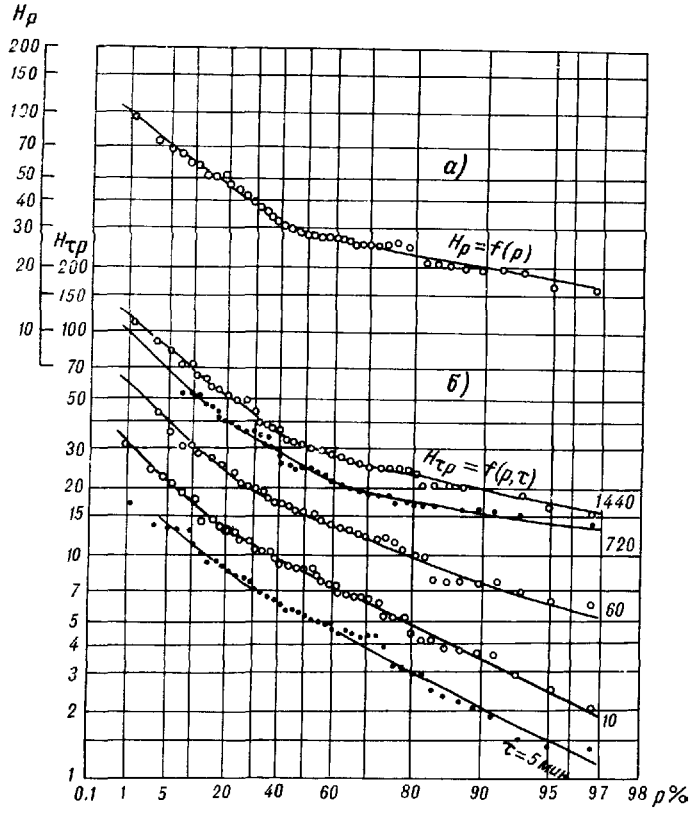


Рис. 2.12. Семейство (абака) (*а*) эмпирических кривых обеспеченности наибольших в году слоев осадков $H_{\tau p} = f(p, \tau)$ для ряда значений τ=const и эмпирическая кривая обеспеченности наибольших в году суточных осадков $H_p = f_1(p)$ за те же годы наблюдений (*б*) на пяти метеостанциях в районе г. Свердловска с общим числом 53 годостанции.

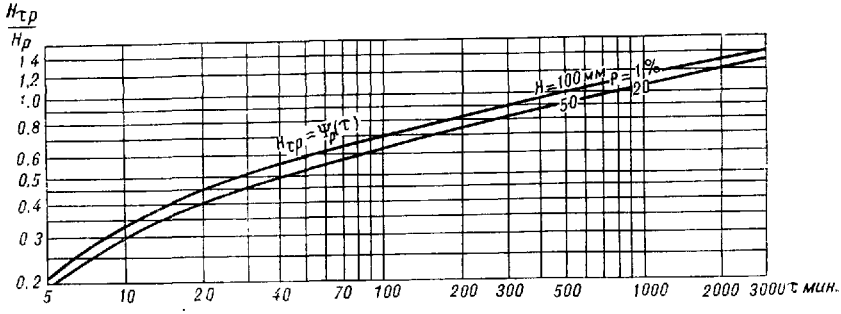


Рис. 2.13. Кривые нарастания слоя осадков $\psi_p(\tau) = \dfrac{H_{\tau p}}{H_p}$ с увеличением интервала времени τ для района г. Свердловска по данным табл. 2.12.

путем деления ординат $\psi_p(\tau)$ на продолжительность отрезка времени τ

$$\frac{\psi_p(\tau)}{\tau} = \frac{H_{\tau p}}{\tau H_p} = \frac{\bar{J}_{\tau p}}{H_p},$$

откуда

$$\bar{J}_{\tau p} = \frac{\psi_p(\tau)}{\tau} \cdot H_p. \qquad (2.12)$$

По изложенной методике проведены построения кривых редукции осадков для различных физико-географических районов. При этом обнаружились два важных обстоятельства.

1. Величины отношений равнообеспеченных значений $H_{\tau p}$ и H_p $\left[\text{т. е. } \psi_p(\tau) = \frac{H_{\tau p}}{H_p}\right]$ мало зависят от исходных расчетных обеспеченностей $p\%$ и соответствующих суточных осадков H_p, а кривые нарастания слоя осадков с увеличением времени осреднения близко располагаются друг к другу, в отдельных же районах сливаются в одну кривую, особенно для $p = 1 \div 20\%$. Это обстоятельство позволяет упростить определение ординат районных расчетных кривых. Их определение можно производить без построения семейства эмпирических кривых обеспеченности слоев осадков $H_{\tau p}$ и H_p по формуле

$$\psi(\tau) = \frac{\sum H_\tau}{\sum H} \quad (\tau = \text{const}), \qquad (2.13)$$

где ΣH_τ — сумма наибольших в году слоев осадков H для 25% наибольших членов объединенного ряда за рассматриваемый интервал времени τ; ΣH — сумма 25% наибольших членов ряда суточных осадков по осадкомеру (см. табл. 2.10).

По соответственным значениям τ и $\psi(\tau)$ (см. табл. 2.10) строится на логарифмической клетчатке районная сглаженная кривая нарастания слоя осадков $\frac{H_{\tau p}}{H_p} = \psi(\tau)$ с увеличением интервала времени τ, осредненная для расчетных обеспеченностей $p\% \leqslant 25\%$, наиболее часто используемых в практике гидрологических расчетов.

2. Общая форма и величины ординат расчетных зависимостей сохраняются для обширных территорий и лишь незначительно видоизменяются под влиянием рельефа. Территориальная устойчивость кривых редукции осадков позволила получить типовые кривые, осредненные для обширных районов.

В качестве примера на рис. 2.14 приведены типовые кривые редукции слоя осадков для обеспеченности $p \leqslant 25\%$. Эти кривые свидетельствуют о том, что, как было отмечено выше, показатель редукции осадков n в формуле (2.5) не остается постоян-

ным для различных районов территории СССР. Как видно из рис. 2.14, наклон расчетных кривых меняется, а следовательно, меняется и показатель степени n.

Ориентировочные величины показателя степени n (тангенс угла наклона секущих прямых) на отдельных участках кривых

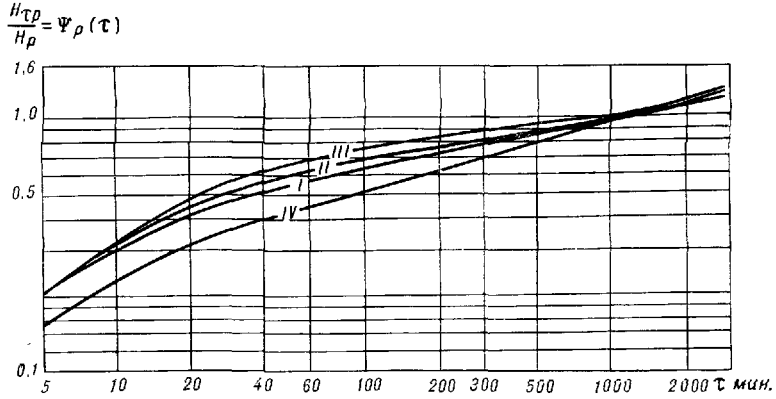


Рис. 2.14. Типовые кривые нарастания слоя осадков $\psi_p(\tau)=\frac{H_{\tau p}}{H_p}$ для $p \leqslant 25\%$.

I — равнинные районы; *II* — возвышенные районы; *III* — западные склоны возвышенностей и северных предгорий гор Европейской части СССР и Западной Сибири; *IV* — Восточная Сибирь.

при выражении их в виде уравнения $\psi_p(\tau)=A\tau^n$ для различных районов приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Значения показателя степени n для различных участков кривой $\psi_p(\tau)=\frac{H_{\tau p}}{H_p}$

Типовые кривые	Величины τ мин.			
	5—20	20—40	40—90	90—1440
I. Равнинные районы	0,513	0,320	0,228	0,214
II. Возвышенности	0,553	0,346	0,228	0,179
III. Западные склоны возвышенностей и северные предгорья	0,631	0,346	0,250	0,138
IV. Восточная Сибирь	0,540	0,320	0,284	0,286

Из табл. 2.7 видно, что показатель степени n изменяется от 0,51—0,63 при $\tau=5\div20$ мин. до 0,14—0,28 при $\tau=90\div1440$ мин. Данные этой таблицы показывают, что существовавшая схема расчета осадков при постоянном показателе степени n может

давать удовлетворительные результаты лишь в определенных интервалах времени, т. е. на определенном участке кривой $\psi_p(\tau)$.

Пример 2.9. Построить для района г. Свердловска кривые редукции слоя осадков обеспеченностью $p=1$, 5 и 20% по данным наблюдений над осадками по плювиографу на метеостанциях Нижний Тагил, Свердловск, Дружинино, Высокая Дубрава и Уфалей.

Для каждой метеостанции по обработанным лентам самописца дождя производим выборку за каждый год наибольших слоев осадков H_τ за различные интервалы времени τ. Для этой цели по записям дождя, расшифрованным по правилам, изложенным выше и в § 2.2, определяем наибольший слой осадков сначала за 5 мин, затем, последовательно наращивая интервал времени τ, за 10, 20, ..., 1440 и 2880 мин. Выборка производится по последовательно уменьшающейся интенсивности дождя. Пример выборки приведен в табл. 2.8 для метеостанции Свердловск.

Таблица 2.8

Пример выборки наибольшего слоя осадков за заданные интервалы времени τ из компактного одновершинного дождя

Метеостанция Свердловск

Расшифровка записи дождя					Выборка наибольших значений		
дата, время, час. мин.	количество осадков, *мм*		продолжительность интервала, мин.	интенсивность дождя за интервал, *мм/мин*	интервал времени τ мин.	начало и конец интервала по записи дождя	наибольший слой осадков за интервал H_τ *мм*
	от начала дождя	за интервал					
1 VII 1956 г.							
17 51	0,0				5	19—09—19—14	10,2
18 46	0,3	0,3	55	0,01	10	19—09—19—19	14,4
18 51	0,7	0,4	5	0,08	20	19—01—19—21	20,3
19 03	4,6	3,9	12	0,32	40	18—46—19—26	24,8
09	9,1	4,5	6	0,75	60	18—48—19—48	26,8
14	19,3	10,2	5	2,04	90	18—46—20—16	27,7
19	23,5	4,2	5	0,84	150	18—14—20—44	28,5
21	24,3	0,8	2	0,40	173	17—51—20—44	28,6
24	24,9	0,6	3	0,20	300		28,6
32	25,5	0,6	8	0,08	720		28,6
36	25,6	0,1	4	0,02	1440		28,6
45	26,8	1,2	9	0,13	2880		28,6
48	27,3	0,5	3	0,17			
20 44	28,6	1,3	56	0,02			

Наибольший слой осадков, равный 10,2 *мм*, сосредоточен между 19 час. 09 мин. и 19 час. 14 мин., когда наблюдалась наибольшая интенсивность дождя, равная 2,04 *мм/мин*, продолжавшаяся в течение 5 мин.

Чтобы получить слой осадков за $\tau=10$ мин., от наибольшей интенсивности (10,2 *мм/мин*) наращивается интервал до 10 мин. в сторону последующей наибольшей интенсивности 0,84 *мм/мин* и H_τ за 10 мин. получается равным $10{,}2+4{,}2=14{,}4$ *мм/мин*.

Таблица 2.9

Наибольшие слои осадков за заданные интервалы времени H_τ и наибольшие суточные осадки за теплый период H, расположенные в убывающем порядке

ст. Высокая Дубрава

№ п/п	H_τ (мм) за интервал времени τ мин.											H мм
	5	10	20	40	60	90	150	300	720	1440	2880	
1	11,4	18,4	23,5	27,2	30,3	31,9	37,7	38,6	53,6	71,6	(100,0)	68,4
2	9,1	14,5	23,0	26,2	28,5	30,3	30,6	36,7	53,4	54,4	(65,2)	50,3
3	8,0	13,1	17,3	24,1	24,2	24,2	26,8	30,9	46,5	51,8	(59,5)	41,2
4	7,7	10,8	14,3	19,8	20,5	22,1	24,4	29,5	31,8	(32,4)	(49,3)	33,4
5	6,7	9,3	13,6	17,9	19,7	20,6	20,8	24,6	30,9	(32,0)	(46,8)	32,0
6	6,1	9,0	12,5	16,4	18,1	18,1	20,6	23,8	25,2	(27,6)	42,5	27,6
7	5,1	8,7	11,9	15,9	16,4	17,1	18,1	23,6	24,6	(27,4)	(41,1)	27,4
8	4,8	7,3	9,9	13,8	14,2	14,3	16,3	22,3	22,3	26,8	(36,0)	26,1
9	4,4	6,6	9,6	12,4	13,6	14,1	16,2	19,0	19,7	(25,1)	(32,4)	25,1
10	4,0	6,3	8,9	11,5	12,0	12,7	15,2	15,8	19,0	(20,2)	(20,2)	20,2

Примечание. В скобках приведены суточные и двухсуточные максимумы осадков за теплый период в тех случаях, когда они превышают выборочные значения H_τ за τ=1440 и 2880 мин по записям дождей.

Таблица 2.10

Сводная таблица наибольших слоев осадков H_τ за заданные интервалы времени τ и наибольших суточных осадков H, расположенных в убывающем порядке, по данным пяти метеостанций в районе г. Свердловска

№ п/п	H_τ (*мм*) за интервал времени τ мин.											H *мм*	Обеспеченность $p\% = \frac{m-0{,}3}{n+0{,}4} \cdot 100$
	5	10	20	40	60	90	150	300	720	1440	2880		
1	17,5	31,6	43,7	65,2	71,8	81,7	88,4	88,4	107,3	107,4	(113,0)	93,7	1,31
2	13,4	25,4	36,9	42,6	43,2	45,5	65,4	70,1	88,4	(93,7)	(100,0)	74,4	3,18
3	13,4	24,2	31,8	35,7	35,8	43,3	43,3	44,1	82,8	85,1	(97,0)	68,4	5,06
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
14	7,9	11,6	15,4	19,3	20,5	21,9	24,4	28,6	37,2	(50,4)	(59,5)	41,2	25,6
$\sum H_\tau$	152	250	339	409	441	485	533	580	770	929	1096	794	
$\varphi(\tau)$	0,19	0,31	0,43	0,51	0,56	0,61	0,67	0,73	0,97	1,17	1,38	1,00	
15	7,7	11,5	15,2	19,1	20,2	21,3	23,5	27,8	36,9	(45,0)	(57,0)	41,0	27,5
16	7,5	11,4	15,2	19,1	19,8	20,8	23,2	25,9	35,9	45,0	(53,7)	39,5	29,4
17	7,2	10,8	14,8	17,9	19,7	20,6	22,5	25,8	35,5	(41,0)	52,0	37,9	31,3
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
27	5,6	8,9	11,9	14,6	15,5	16,0	16,9	20,7	24,6	30,4	(39,5)	29,1	50,0
$\sum H_\tau$	83,7	130	176	216	228	241	263	311	381	480	608	433	
$\varphi(\tau)$	0,19	0,30	0,41	0,50	0,52	0,56	0,61	0,72	0,88	1,11	1,40	1,00	
28	5,4	8,9	11,6	13,8	15,5	15,5	16,5	20,6	24,4	(30,1)	(39,5)	29,0	51,9
29	5,3	8,7	10,1	13,8	14,2	15,4	16,5	20,3	24,0	(29,5)	(38,6)	28,4	53,7
30	5,1	8,4	9,9	13,3	14,2	15,1	16,3	20,2	22,7	(29,1)	(38,3)	28,4	55,6
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
53	0,5	0,9	1,4	2,5	3,6	5,4	8,8	10,2	13,1	(15,4)	(16,0)	15,4	98,7

Для определения осадков за 20 мин. необходимо к осадкам за 10 мин. (19 час. 9 мин—19 час. 19 мин.) добавить осадки из участка записи дождя с интенсивностью 0,75 *мм/мин*. Но так как ее длительность равна 6 мин. и до конца интервала $\tau=20$ мин. не хватает 4 мин., то 2 мин. берем с интенсивностью 0,40 *мм/мин*, а за оставшиеся 2 мин. набираем осадки из промежутка записи дождя с интенсивностью 0,32 *мм/мин*. Таким образом, интервал наибольшего слоя осадков за 20 мин. захватывает часть записи дождя от 19 час. 1 мин. до 19 час. 21 мин., а слой осадков $H_\tau = 20$ *мм*

$$0{,}8+4{,}2+10{,}2+4{,}5+2\times0{,}32=20{,}3 \text{ мм}.$$

Аналогичные подсчеты слоя осадков производятся для следующих интервалов времени τ.

Так как дождь 1 VII 1956 г. имел общую продолжительность 173 мин. и захватил только часть принятых интервалов времени τ, то во всех интервалах следующих после 150 мин. (173 мин.), т. е. 300, 720, 1440 и 2880 мин. повторяется сумма осадков за дождь 28,6 *мм*.

В результате выборок за все годы наблюдений составляется для каждой метеостанции сводная таблица наибольших за каждый год слоев осадков H_τ за разные интервалы времени τ и наибольших суточных осадков H (табл. 2.9).

Имея такие таблицы для каждой станции, составляем общую, объединенную для всех пяти метеостанций таблицу наибольших слоев осадков H_τ за каждый интервал времени τ и слоев суточных осадков H. Полученный единый ряд значений H_τ и H располагаем в таблице в убывающем порядке и по приложению 3 определяем обеспеченность для каждого члена ряда (табл. 2.10).

По данным табл. 2.10 строятся для каждого интервала времени τ сглаженные кривые обеспеченности наибольших в году слоев осадков $H_{\tau p} = f_1(p, \tau)$ и сглаженная кривая обеспеченности наибольших в году суточных осадков $H_p=f_2(p)$. Полученное семейство кривых обеспеченности представлено на рис. 2.12.

С кривой $H_p=f_2(p)$ снимаются величины суточных осадков H_p' обеспеченностью $p'=1$, 5 и 20%, округляются до ближайших значений и по этой же кривой $H_p=f_2(p)$ определяются соответствующие им значения обеспеченности p, близкие к заданным. Результаты определений приведены в табл. 2.11.

Таблица 2.11

Исходная расчетная обеспеченность p'%	Суточный слой осадков заданной обеспеченности H_p' *мм*	Округленный расчетный слой осадков H *мм*	Обеспеченность округленного расчетного слоя осадков p%
1	96	100	0,8
5	70	70	5
20	45	50	15

По величинам $p=0{,}8$; 5 и 15% снимаем с кривых обеспеченности $H_{\tau p} = f_1(p, \tau)$ наибольшие слои осадков $H_{\tau p}$ для каждого интервала времени τ.

Находим отношения $\frac{H_{\tau p}}{H_p}$, т. е. величины $H_{\tau p}$ за все интервалы времени, снятые с кривых для обеспеченности 0,8%, делим на 100 *мм*, величины $H_{\tau p}$ обеспеченностью 5% — на 70 *мм*, величины $H_{\tau p}$ обеспеченностью 15% — на 50 *мм*. Результаты вычислений помещены в табл. 2.12.

По полученным значениям отношений $\frac{H_{\tau p}}{H_p}$ строим кривые редукции слоя осадков для района г. Свердловска (см. рис. 2.13).

Таблица 2.12

Наибольшие в году слои осадков за заданные интервалы времени τ мин., снятые с эмпирических кривых обеспеченности (рис. 2.12), суточные осадки H_p *мм* той же обеспеченности p% и их отношения $\frac{H_{\tau p}}{H_p} = \psi_p(\tau)$

Район г. Свердловска

Суточные осадки заданной обеспеченности				Характеристика	Интервал времени τ мин.										
p'%	H'_p *мм*	H_p *мм*	p%		5	10	20	40	60	90	150	300	720	1440	2880
1	95	100	0,8	H_τ	21,1	33,5	48,0	53,0	61,0	67,5	75,0	85,0	105	124	141
				$\psi(\tau)$	0,210	0,335	0,480	0,530	0,610	0,675	0,750	0,850	1,05	1,24	1,41
5	70	70	5	H_τ	14,0	22,0	30,6	35,0	39,5	42,5	46,0	51,0	65,0	84,0	97,5
				$\psi(\tau)$	0,200	0,314	0,437	0,500	0,565	0,607	0,658	0,729	0,943	1,20	1,39
20	46	50	15	H_τ	9,7	15,0	21,0	24,0	26,0	28,0	30,5	35,5	46,0	57,5	70,0
				$\psi(\tau)$	0,194	0,300	0,120	0,480	0,520	0,560	0,610	0,710	0,920	1,14	1,40

§ 2.4. ВЫЧИСЛЕНИЕ СЛОЯ ОСАДКОВ

Осадки являются одним из главных элементов водного баланса речных бассейнов, поэтому необходимо более подробно описать способы определения этой составляющей водного баланса.

Атмосферные осадки измеряются на гидрометеорологической сети с помощью осадкомеров. В качестве стандартного прибора в настоящее время принят осадкомер Третьякова (цилиндрический сосуд — «ведро» с площадью приемного отверстия 200 *см*^{2}), установленный на столбе высотой 2 *м* от поверхности почвы; сосуд окружен металлической планочной защитой, уменьшающей вредное влияние ветра. В труднодоступных районах (в горах и т. п.) используются суммарные дождемеры.

До 1951—1953 гг. на гидрометеорологической сети в течение более 50 лет для измерения количества осадков использовался дождемер с защитой Нифера, который имел худшие, чем у осадкомера Третьякова, аэродинамические свойства, и ветровые погрешности в измерении осадков были большими (осадкомерный сосуд — «ведро» имел приемную поверхность 500 *см*^{2}, ветровая защита была выполнена в виде сплошного жесткого металлического конуса).

Замена дождемера осадкомером привела к существенному снижению систематической ошибки при измерении осад-

ков, но одновременно была нарушена (с 1953 г.) однородность во времени рядов наблюдений над осадками. Специальные исследования показали, что осадки, измеренные дождемерами и осадкомерами, значительно преуменьшены, особенно твердые.

Поскольку при гидрологических и воднобалансовых расчетах приходится пользоваться материалами наблюдений над осадками за прошлые годы, необходимо внести поправки в эти данные для получения однородного ряда.

Погрешности измерения осадков. Исследования показали, что количество осадков, измеренное на гидрометеорологических станциях и постах, всегда меньше действительно выпавшего количества осадков. Ошибка измерения может быть исправлена путем введения соответствующих поправок в измеренные количества осадков, поскольку для используемой конструкции осадкомера (это относится как к отечественным, так и зарубежным данным) найдены три главные погрешности:

1. Потери собранных осадков на смачивание осадкомерного сосуда. Для осадкомеров, применявшихся в СССР, эти потери экспериментально определены и составляют 0,2 *мм* при каждом измерении жидких осадков и 0,1 *мм* при каждом измерении твердых осадков.

С 1966 г. потери на смачивание учитываются поправкой, которую вводят на станциях и постах при каждом измерении осадков. В количества осадков, измеренных в более ранние годы (до 1966 г.), необходимо вводить поправку на смачивание, как это указано далее.

2. Потери на испарение из осадкомерного сосуда в промежуток времени между моментом измерения осадков и окончанием дождя (снегопада). Интенсивность испарения W *мм/час* прямо пропорциональна дефициту влажности воздуха d *мб*, скорости ветра u *м/сек* и зависит от конструкции прибора. Для каждого из применявшихся в СССР осадкомеров экспериментальным и расчетным путем определена интенсивность испарения для жидких и для твердых осадков. Эта зависимость $W=f(d, u)$ для осадкомера Третьякова приведена на рис. 2.15.

Поскольку расчет интенсивности испарения из осадкомера и суммарного времени испарения для каждого месяца представляет довольно трудоемкую операцию, для практической работы были составлены карты средних месячных потерь на испарение (E в % от средней месячной измеренной суммы осадков). Эти карты, составленные для двух сроков наблюдений (как это делается на постах), приведены в приложениях IV—XV.

3. Потери осадков при сборе их вследствие искажения поля воздушного потока вокруг прибора (ветровой недоучет). Сущность этого явления состоит в том, что при набегании воздушного потока на прибор скорость ветра непосредственно у краев прибора возрастает и наиболее легкие (мелкие) частицы осадков

проносятся мимо приемного отверстия. Снос частиц осадков линейно возрастает при увеличении скорости ветра. Траектории частиц, падающих с малой скоростью (мелкие капли, снежинки), искажаются сильнее, поэтому ошибка измерения мелкокапельных и твердых осадков наибольшая.

Таким образом, ветровой недоучет осадков зависит от скорости ветра на уровне прибора и от характеристики структуры осадков. За характеристику структуры жидких осадков принимают величину N, которая представляет собой ту долю суммы осадков (в %), которая выпадала с интенсивностью J, равной

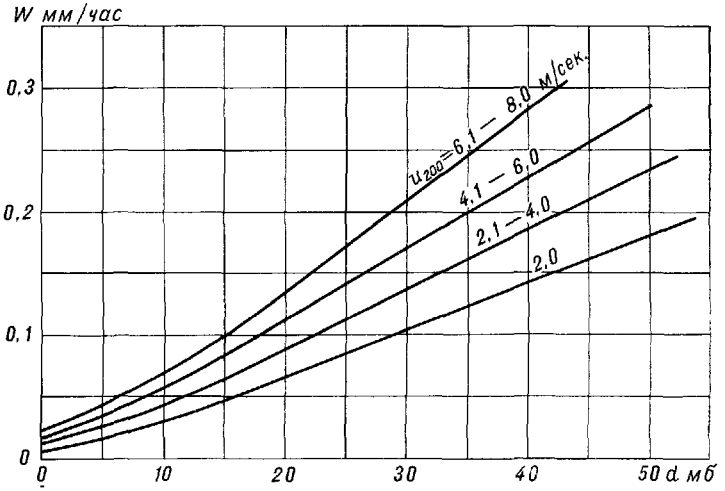


Рис. 2.15. Интенсивность испарения жидких осадков $W_ж$ из осадкомера.

или меньшей 0,03 *мм/мин*. Величину N можно определить путем подсчета по лентам плювиографа. Для этой цели на записи каждого дождя нужно выбрать участки, на которых интенсивность дождя не превышала 0,03 *мм/мин*. Правила этих вычислений изложены в § 2.2. В результате обработки записей всех дождей в течение месяца полученную сумму осадков при $J \leqslant 0{,}03$ *мм/мин* за месяц делят на общую сумму всех осадков, измеренных плювиографом, и получают величину $N = \frac{\sum x_{J<0,03}}{x} \cdot 100$.

Практически для определения величины N пользуются средними статистическими значениями N для каждого месяца с жидкими осадками. Для любого пункта территории СССР их можно снять с карт, приведенных в приложениях XVI—XXII.

Структура твердых и смешанных осадков определяется величиной температуры воздуха $t°$.

Ветровой недоучет выражают через величину поправочного множителя B (для жидких осадков $B_ж$, для смешанных $B_с$ и для твердых осадков $B_т$).

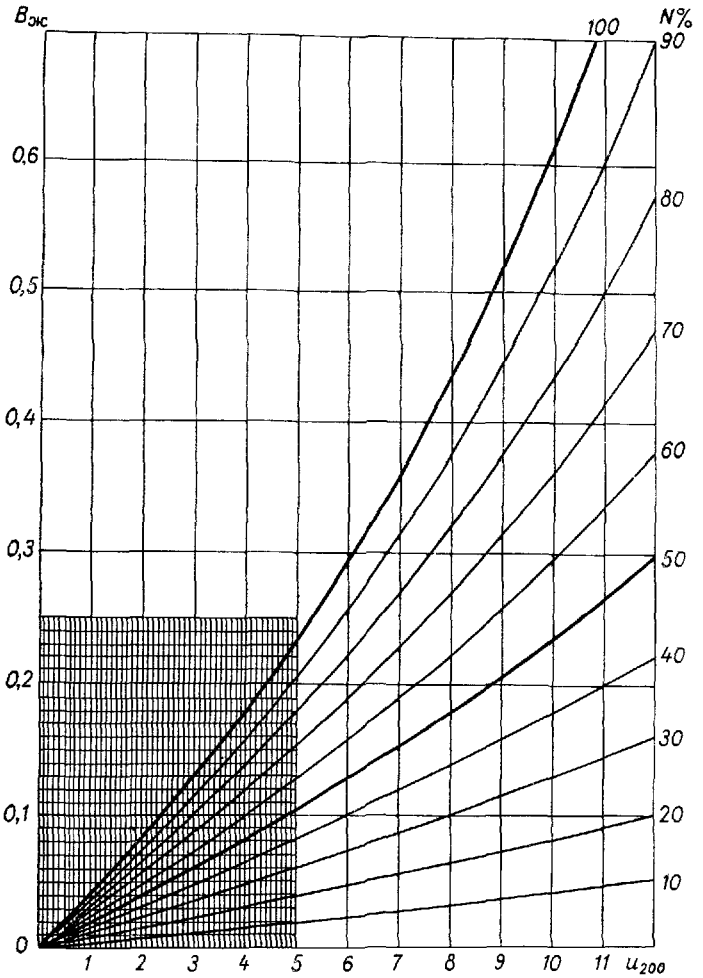


Рис. 2.16. Зависимость величины ветрового коэффициента $B_к$ от скорости ветра u_{200} и значения параметра N %.

Величину $B_ж$ можно определить по рис. 2.16 по значениям скорости ветра и характеристике N. Величина $B_с$, значения которой приведены в табл. 2.13, зависит только от скорости ветра. Величина $B_т$, приведенная в той же таблице, имеет два ряда значений (при $t° > -8{,}5°$ и $t° < -8{,}5°$) в зависимости от скорости ветра.

Таблица 2 13

Ветровые поправки к измеренным суммам смешанных B_c и твердых $B_т$ осадков

u_{200} м/сек	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0 5	0,6	0,7	0,8	0,9
				Смешанные осадки						
0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10
1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21
2	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31	0,32
3	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43
4	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,51	0,52	0,53	0,54
5	0,55									
				Твердые осадки						
				$t \geqslant -8{,}5°$						
0	0,00	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09	0,10	0,12	0,14
1	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29
2	0,31	0,33	0,34	0,36	0,37	0,39	0,41	0,42	0,43	0,45
3	0,47	0,48	0,50	0,52	0,53	0,54	0,56	0,58	0,59	0,61
4	0,63	0,64	0,66	0,67	0,69	0,70	0,72	0,73	0,75	0,77
5	0,78									
				$t < -8{,}5°$						
0	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17
1	0,19	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37
2	0,39	0,41	0,43	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56
3	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,73	0,75
4	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,95
5	0,97									

Примечание. При $u_{200} > 5{,}0$ м/сек следует пользоваться значениями ветровых поправок при $u_{200} = 5$ м/сек.

При практических расчетах принято объединять ветровой поправочный множитель B и потери на испарение E (выраженные не в процентах, а в сотых долях суммы осадков, например 4% — 0,04) в общий поправочный коэффициент:

$$A_ж = B_ж - E,$$
$$A_т = B_т + E. \qquad (2.14)$$

Кроме описанных трех основных погрешностей, имеются еще некоторые источники ошибок измерения осадков, например:

а) в районах Крайнего Севера и местностях с интенсивными метелями в осадкомеры забрасывается снег, поднимаемый ветром с поверхности снежного покрова. При измерении эти «ложные» осадки невозможно отделить от истинных, и в результате количество осадков оказывается преувеличенным. Для устранения этой ошибки результаты измерения осадков в указанных

районах исправляются поправкой «на надувание ложных осадков». Поправочный коэффициент $A_{тн}$, учитывающий интенсивность надувания ложных осадков в зависимости от скорости ветра, и испарение равен

$$A_{тн} = C_{н} + E, \tag{2.15}$$

где $C_{н}$ — эмпирический коэффициент, приведенный в табл. 2.14, в зависимости от скорости ветра на уровне осадкомера; E — потеря на испарение, выраженная в сотых долях от суммы осадков;

б) при крупнокапельных дождях, выпадающих при сильном ветре, капли падают по очень наклонным траекториям. Ударяясь о внутренние стенки осадкомера, капли разбрызгиваются и часть этих размельченных осадков выносится потоком ветра из прибора. На большей части территории СССР эти потери вследствие редких случаев таких дождей мало сказываются на месячных суммах осадков.

Введение поправок в суммы осадков. Выше было сказано, что если используются данные об осадках, измеренных дождемером с защитой Нифера, то их нужно предварительно исправить, т. е. привести к показаниям осадкомера Третьякова. Это осуществляется путем умножения суммы осадков на переходный коэффициент k_1 (значения коэффициента для каждой станции и поста приведены в «Справочнике по климату СССР»).

В измеренные осадкомером Третьякова месячные суммы осадков x' вводятся два вида поправок: 1) поправка, учитывающая потери на смачивание, $\Delta x_{с}$ и 2) поправка, учитывающая потери под влиянием ветра и испарения, $\Delta x_{ВЕ}$.

Поправка $\Delta x_{с}$ рассчитывается по формуле

$$\Delta x_{с} = qД, \tag{2.16}$$

где $Д$ — число дней с осадками $\geqslant 0{,}1$ *мм* в течение данного месяца; q — средняя статистическая величина потери на смачивание в течение одного дня с осадками; в месяцы с жидкими осадками $q_{ж}=0{,}3$; в месяцы со смешанными осадками $q_{с}=0{,}2$; в месяцы с твердыми осадками $q_{т}=0{,}15$.

Поправка $\Delta x_{ВЕ}$ рассчитывается по формуле

$$\Delta x_{ВЕ} = x'A, \tag{2.17}$$

где x' — измеренная сумма осадков; A — средний многолетний месячный поправочный коэффициент для разных видов осадков: $A_{ж}$ — жидких, $A_{с}$ — смешанных, $A_{т}$ — твердых, $A_{тн}$ — твердых при наличии метели.

Коэффициенты $A_{ж}$, $A_{с}$, $A_{т}$, $A_{тн}$ индивидуальны для каждой станции и поста и, кроме того, меняются от месяца к месяцу.

Таблица 2.14

Значения коэффициента $C_п$, учитывающего надувание ложных осадков в осадкомер

Скорость на уровне осадкомера, *м/сек*	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					$t>-5{,}5°$					
5	—	—	—	—	—	0,47	0,45	0,42	0,40	0,37
6	0,32	0,29	0,26	0,23	0,20	0,17	0,13	0,11	0,09	0,06
7	0,03	0,01	−0,01	−0,03	−0,06	−0,08	−0,10	−0,12	−0,14	−0,17
8	−0,20	−0,22	−0,24	−0,26	−0,29	−0,31	−0,33	−0,35	−0,37	−0,39
9	−0,41	−0,43	−0,44	−0,46	−0,48	−0,50	−0,51	0,53	−0,55	−0,56
10	−0,57	−0,59	−0,60	−0,61	−0,62	−0,64	−0,64	−0,65	−0,66	−0,67
11	−0,68	−0,70	−0,70	−0,71	−0,72	−0,73	−0,74	−0,75	−0,75	−0,76
12	−0,77	−0,77	−0,78	−0,78	−0,79	−0,80	−0,80	−0,81	−0,81	−0,81
13	−0,82	−0,82	−0,82	−0,83	−0,83	−0,83	−0,84	−0,84	−0,84	−0,84
14	−0,84	−0,85	−0,85	−0,85	−0,85	−0,85	−0,86	−0,86	−0,86	−0,86
15	−0,86	−0,86	−0,87	−0,87	−0,87	−0,87	−0,87	−0,87	−0,87	−0,87
16	−0,87	−0,87	−0,87	−0,88	−0,88	−0,88	−0,88	−0,88	−0,88	−0,88
17	−0,885	−0,890	−0,891	−0,893	−0,897	−0,899	−0,900	−0,902	−0,904	−0,905
18	−0,905	−0,906	−0,907	−0,908	−0,910	−0,911	−0,911	−0,912	−0,913	−0,914
19	−0,915	−0,916	−0,917	−0,918	−0,919	−0,920	−0,921	−0,921	−0,922	−0,922
20	−0,922	−0,923	−0,923	−0,923	−0,923	−0,924	−0,924	−0,924	−0,924	−0,924
21	−0,925	−0,925	−0,925	−0,926	−0,926	−0,927	−0,927	−0,927	−0,928	−0,928
22	−0,928	−0,929	−0,929	−0,929	−0,930	−0,930	−0,930	−0,931	−0,931	−0,932
23	−0,933	−0,933	−0,933	−0,934	−0,934	−0,934	−0,935	−0,935	−0,935	−0,936
24	−0,936	−0,937	−0,937	−0,938	−0,939	−0,940	−0,940	−0,940	−0,940	−0,940
25	−0,940	−0,940	−0,940	−0,940	−0,940	−0,940	−0,940	−0,939	−0,939	−0,939
26	−0,938	−0,938	−0,938	−0,938	−0,937	−0,937	−0,937	−0,936	−0,936	−0,936
27	−0,935	−0,935	−0,934	−0,932	−0,932	−0,932	−0,931	−0,931	−0,930	−0,929
28	−0,928	−0,928	−0,927	−0,927	−0,927	−0,926	−0,926	−0,925	−0,925	−0,924
29	−0,923	−0,923	−0,923	−0,923	−0,922	−0,922	−0,922	−0,921	−0,921	−0,921
30	−0,920	−0,920	−0,919	−0,917	−0,916	0,915	−0,914	−0,913	−0,911	−0,910

Скорость на уровне осадкомера, *м/сек*	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
				$t \leqslant -5{,}5°$						
5	—	—	—	—	—	0,10	0,09	0,07	0,06	0,04
6	0,02	0,00	−0,01	−0,04	− 0,06	−0,09	−0,12	−0,13	0,16	0,18
7	−0,20	−0,22	−0,23	−0,25	−0,27	−0,28	−0,30	0,32	− 0,34	-0,36
8	−0,37	−0,39	−0,41	−0,42	−0,43	−0,45	−0,46	− 0,18	-−0,50	−0,52
9	−0,54	−0,55	−0,56	−0,57	−0,59	− 0,61	−0,62	−0,63	−0,64	−0,65
10	−0,66	−0,67	−0,68	−0,69	−0,70	−0,71	−0,72	−0,73	−0,74	−0,74
11	−0,75	−0,76	−0,76	−0,77	− 0,77	0,78	−0,78	−0,79	−0,79	−0,80
12	−0,80	−0,81	−0,81	−0,82	−0,82	−0,83	−0,83	−0,84	-−0,84	−0,84
13	−0,84	−0,85	−0,85	−0,85	−0,85	−0,86	−0,86	−0,86	-0,86	−0,86
14	−0,86	−0,86	−0,86	−0,86	−0,86	−0,87	−0,87	0,87	0,87	−0,87
15	−0,87	−0,87	−0,87	−0,87	−0,87	−0,87	−0,87	- 0,87	−0,87	-−0,87
16	−0,87	−0,87	−0,87	−0,88	−0,88	−0,88	−0,88	−0,88	−0,88	−0,88
17	−0,885	−0,890	−0,891	−0,893	−0,897	−0,899	-−0,900	−0,902	−0,904	−0,905
18	−0,905	−0,906	−0,907	−0,908	−0,910	− 0,911	- 0,911	−0,912	−0,913	−0,914
19	−0,915	−0,916	−0,917	−0,918	−0,919	−0,920	−0,921	− 0,921	-−0,922	−0,922
20	−0,922	−0,923	−0,923	−0,923	−0,923	−0,924	−0,924	- 0,924	-0,921	-−0,924
21	−0,925	−0,925	−0,925	−0,926	−0,926	−0,927	−0,927	0,927	0,928	- 0,928
22	−0,928	−0,929	−0,929	−0,929	−0,930	−0,930	−0,930	0,931	−0,931	- 0,932
23	−0,933	−0,933	−0,931	−0,934	-−0,934	−0,934	−0,935	−0,935	-−0,935	-0,936
24	−0,936	-−0,937	−0,937	-0,938	−0,939	−0,940	−0,940	- 0,940	−0,940	−0,940
25	-−0,940	−0,940	−0,940	−0,940	−0,940	−0,940	−0,940	-−0,939	-−0,939	−0,939
26	−0,938	−0,938	- 0,938	−0,938	−0,937	−0,937	−0,937	- 0,936	-−0,936	−0,936
27	- 0,935	- 0,935	−0,934	−0,932	−0,932	−0,931	−0,931	−0,931	- 0,930	−0,930
28	−0,928	−0,928	−0,927	−0,927	−0,927	−0,926	-−0,926	-−0,926	-−0,925	−0,924
29	−0,923	−0,923	−0,923	−0,923	−0,922	−0,922	-−0,922	- 0,921	0,921	0,921
30	−0,920	-−0,920	−0,919	−0,917	−0,916	−0,915	0,914	0,913	−0,911	-−0,910

Значения коэффициентов $A_{ж,\,с,\,т}$ можно вычислить по значениям средней месячной скорости ветра на уровне осадкомера u_{200} на данной станции, а также по величинам $E\%$ и $N\%$, снятым с карт, приведенных в приложениях IV—XV и XVI—XXII.

Средняя месячная скорость ветра на высоте 200 *см* (u_{200}) берется непосредственно, если она измерена вблизи осадкомера, или вычисляется по показаниям ветроизмерительного прибора станции (флюгера или анеморумбометра) по формуле

$$u_{200} = k_{л} m u_{ф}, \tag{2.18}$$

где u_{200} и $u_{ф}$ — средние месячные значения скорости ветра на высоте 2 *м* и на уровне установки флюгера или анеморумбометра, $k_{л}$ — логарифмический коэффициент изменения скорости ветра с высотой; m — поправочный коэффициент, характеризующий искажение логарифмического профиля ветра под влиянием защищенности площадки (для полностью открытых станций $m=1$). Логарифмический коэффициент $k_{л}$ может быть вычислен по формуле

$$k_{л} = \frac{\lg \frac{z_{200}}{z_0}}{\lg \frac{z_{ф}}{z_0}}, \tag{2.19}$$

где $z_{ф}$ — высота установки флюгера или анеморумбометра; z_{200} — высота установки осадкомера (200 *см*); z_0 — параметр шероховатости (зависит от характера подстилающей поверхности в радиусе 200—300 *м* от места установки осадкомера).

Для упрощения вычислений составлены табл. 2.15 и 2.16 для нахождения $k_{л}$ по величине z_0 и $z_{ф}$.

Таблица 2.15

Значение параметра шероховатости z_0 подстилающей поверхности

Характеристика подстилающей поверхности	Параметр шероховатости, *м*
Оголенная плотная почва	0,01
Черный пар	0,02
Трава	0,03
Снежный покров	0,005
Рыхлый снежный покров малой высоты с оголенными местами	0,02

Таблица 2.16

Значения $k_л$ при различной величине $z_ф$ и z_0

z_0 *м*	Значения $z_ф$ *м*										
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,005	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,75	0,74	0,74	0,73	0,73	0,72
0,01	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,71	0,70	0,70	0,69
0,02	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70	0,70	0,69	0,68	0,68	0,68	0,67
0,03	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67	0,67	0,66	0,66	0,65	0,64

Поправочный коэффициент m учитывает изменение скорости ветра на высоте 2 *м*, вызванное защищенностью места установки осадкомера от воздействия ветра (например, строениями, высокой растительностью и т. д.) в радиусе до 300 *м*. Коэффициент m определяется по углу α закрытости горизонта станции с помощью табл. 2.17.

Таблица 2.17

Величины коэффициента m в зависимости от угла α закрытости горизонта станции

α	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,00	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,86	0,84	0,81	0,79
10	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67	0,65	0,63	0,60	0,58	0,56
20	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40	0,38	0,56
30	0,35	0,34	0,32	0,31	0,30	0,29				

Среднее значение m для станции определяется арифметически из величин m, соответствующих закрытости горизонта α по каждому из 16 румбов. Закрытость горизонтов по румбам берется из «Технического дела станции»[1].

После нахождения u_{200} для данной станции снимаются с карт приложения XVI—XXII ежемесячные значения $N\%$, а для месяцев со смешанными и твердыми осадками выписываются из Ежегодника или «Справочника по климату СССР» значения средней месячной температуры воздуха.

По ежемесячным величинам u_{200} и $N\%$ по графику на рис. 2.16 находят ветровые поправочные множители $B_ж$, а по u_{200} и t в табл. 2.13 — ветровые поправочные коэффициенты B_c

[1] При отсутствии сведений о закрытости горизонта значение коэффициента m с меньшей точностью можно определить с помощью табл. 2.20 по визуальной оценке защищенности установки осадкомера.

и $B_т$. Затем каждое из найденных ежемесячных значений $B_ж$, $B_с$ и $B_т$ складывают с величиной поправки на испарение E, снятой для данного пункта с карт приложения IV—XV и выраженной в сотых долях суммы осадков. (Например, с карты снята величина $E=6\%$; выраженная в сотых долях она равна 0,06 для поста или станции при двухсрочных наблюдениях, а для станций, действовавших в 1966—1970 гг. — половине этого значения, т. е. 0,03). Таким образом будет найден коэффициент $A=B_{ж,\,с,\,т}+E$.

В метелевых районах страны в зимние месяцы (если средняя месячная продолжительность метели, не считая поземка, составляла сто и более часов) вместо коэффициента $A_т$ используется коэффициент $A_{тн}$, рассчитываемый по формуле (2.15), аналогично описанному выше расчету коэффициента $A_т$.

Поправка к измеренной сумме осадков на влияние ветра и испарение рассчитывается по формуле (2.17).

Исправленная всеми поправками сумма осадков x_0 равна

$$x_0 = x' + \Delta x_с + \Delta x_{BE}. \qquad (2.20)$$

При практических расчетах исходные данные и результаты записываются в рабочую таблицу, составляемую по форме табл. 2.18 для каждой станции за каждый год.

Последовательность записи исходных данных и результатов расчета (табл. 2.18) рекомендуется следующая:

1) средняя месячная скорость ветра на уровне осадкомера, рассчитанная по формуле (2.18);

2) средняя месячная температура воздуха, выписанная из Ежемесячника или таблиц ТМ-1 за все месяцы, кроме летних, когда она заведомо больше +5°;

3) условными буквами указывается преобладающий вид осадков, который определяется с помощью табл. 2.19 по средней месячной температуре t;

4) значения N %, снятые с карт приложения XVI—XXII для данного пункта;

5) величины ветрового поправочного множителя $B_ж$, найденные по значениям u_{200} и N % на рис. 2.16, или $B_с$ (и $B_т$), определенные по значению u_{200} и $t°$ по табл. 2.13. Для зимних месяцев с продолжительностью метели более 100 час. в эту строку выписываются значения коэффициента $C_н$, найденные по табл. 2.14;

6) величины E, снятые с карт приложения IV—XV и выраженные в сотых долях;

7) коэффициент A, являющийся суммой величин B и E, указанных соответственно в п. 5 и 6;

8) строки 8 и 9 заполняются только в тех случаях, когда рассчитываются поправки к суммам осадков, измеренных дождемером с защитой Нифера, т. е. к данным наблюдений,

Таблица 2.18

Рабочая таблица для записи исходных данных об осадках, расчета поправок и исправленных сумм осадков

ст. Пинск, 1939 г.

Параметр	Обозначение	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Скорость ветра на уровне осадкомера (средняя месячная)	u_{200}	3,2	3,4	3,2	2,7	2,5	1,9	1,5	2,2	4,1	3,0	3,4	3,5
Температура воздуха (средняя месячная)	$t°$	—0,9	—2,7	0,0	7,0	—	—	—	—	—	6,0	1,0	—5,0
Вид осадков	ж, с, т	с	т	с	ж	ж	ж	ж	ж	ж	ж	с	т
Параметр структуры жидких осадков	N %	—	—	—	90	75	60	45	30	40	85	—	—
Множитель поправочный ветровой	$B_{ж,\ с,\ т}$	0,35	0,53	0,35	0,11	0,08	0,05	0,03	0,03	0,07	0,11	0,37	0,54
Потери на испарение (в сотых долях)	E	0,04	0,02	0,05	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,03	0,01
Коэффициент поправочный на ветер и испарение	A	0,39	0,55	0,40	0,12	0,10	0,08	0,06	0,06	0,10	0,12	0,40	0,55
Осадки, измеренные дождемером	$x'_д$	29,0	5,4	24,6	32,1	24,3	30,6	33,8	115,0	17,1	42,0	52,3	48,5
Коэффициент перехода от дождемера к осадкомеру	k_1	1,20	1,22	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,03	1,13
Осадки, измеренные осадкомером (или приведенные)	x'	34,7	6,6	27,3	32,1	24,3	30,6	33,8	115,0	17,1	42,0	53,9	55,0
Число дней с осадками	D	16	5	13	9	7	11	7	9	10	10	17	18
Поправка на ветер и испарение	$x_{EB} = Ax'$	13,6	13,6	10,9	3,8	2,4	2,4	2,3	6,9	1,7	5,0	21,5	30,2
Поправка на смачивание	$x_с = qD$	3,2	0,8	2,6	2,7	2,1	3,3	2,1	2,7	3,0	3,0	3,4	2,7
Исправленная сумма осадков	$x_0 = x' + \Delta x_с + \Delta x_{BE}$	51,5	11,0	40,8	38,6	28,8	35,3	38,2	124,6	21,8	50,0	78,8	87,9

Таблица 2.19

Зависимость вида осадков от средней месячной температуры воздуха

Средняя месячная температура воздуха	Вид осадков
$t > +2{,}0°$ t от $+2{,}0°$ до $-1{,}0°$ $t < -1{,}0°$	ж — жидкие с — смешанные т — твердые

произведенных до 1953 г. В этих случаях в строку 8 записывается сумма осадков по дождемеру, а в строку 9 — коэффициент k_1 для перехода от показаний дождемера к показаниям осадкомера. Значения k_1 опубликованы в «Справочнике по климату СССР», часть IV, приложение к табл. 1 и 1 а.

Заполнение остальных строк таблицы пояснений не требует, так как последовательность расчета поправок и исправленной суммы осадков была описана выше.

Несколько отличается от изложенного расчет поправок к суммам осадков, измеренных на постах. Как известно, на постах не производятся измерения температуры воздуха и скорости ветра, которые необходимы для определения множителя B. Поэтому для групп постов подбирают ближайшую станцию-аналог, расположенную в сходных физико-географических условиях, и для расчета поправок используют данные о температуре воздуха и скорости ветра на этой станции. При этом учитывается различие в защищенности осадкомера на станции и посту путем введения переходного коэффициента P, рассчитываемого по формуле

$$P = \frac{(m_п - 0{,}1)\, m_п}{(m_с - 0{,}1)\, m_с}, \qquad (2.21)$$

где $m_п$ — коэффициент защищенности поста; $m_с$ — коэффициент защищенности станции.

Поскольку для постов отсутствуют сведения об углах закрытости горизонта α, значения коэффициента m для каждого поста находятся по табл. 2.20, исходя из визуальной оценки защищенности установки осадкомера.

Для того чтобы найти значение ветрового множителя $B_{ж,\,с,\,т}$ для поста, следует значения ветрового множителя $B_{ж.\,с.\,т}$, вычисленного для станции-аналога, умножить на переходный коэффициент p, найденный для этого поста по формуле (2.21). Полученные значения $B_{ж.\,с.\,т}$ поста записываются в рабочую таблицу 2.18, составляемую для этого поста. Дальнейший расчет поправок не отличается от описанного выше.

Необходимо отметить, что расчет исправленных сумм осадков для станций и постов сильно упрощается, если можно вос-

Таблица 2.20

Значения коэффициента m в зависимости от степени защищенности пункта

Защищенный пункт — осадкомер расположен на площадке, окруженной со всех сторон высокой растительностью, строениями или непродуваемыми заборами	0,5—0,66
Частично защищенный — прибор установлен на площадке, защищенной не со всех сторон, или защищенной не сплошными, продуваемыми препятствиями	0,67—0,90
Открытый пункт — прибор расположен на площадке, открытой со всех сторон, или имеются лишь отдельные препятствия (деревья, небольшие постройки)	1,0

пользоваться уже готовыми, вычисленными в каждом местном Управлении гидрометслужбы, значениями коэффициентов $A_{ж,\,с,\,т}$. В этом случае при составлении рабочих таблиц по форме табл. 2.18 строки 1—6 вообще не заполняются и объем таблицы уменьшается почти вдвое.

Следует указать, что суммы осадков, измеренные дождемерами ГГИ-500 (установленными на почвенно-испарительных площадках), исправляются поправками точно так же, как описано выше. При этом используются половинные значения коэффициентов $A_ж$ и $A_с$, вычисленные для осадкомера на данной станции, т. е. коэффициент A дождемера ГГИ-500 равен $0{,}5A$ осадкомера.

Суммы осадков, измеренные дождемером ГГИ-3000, исправлению не подлежат.

Исправление средних многолетних сумм (нормы) осадков. При необходимости исправить средние многолетние месячные суммы осадков расчет выполняется также по описанной выше методике. В этом случае при записи исходных данных в табл. 2.17 скорость ветра u_{200} и температура воздуха $t°$ осредняются за те же годы, за которые взята средняя сумма измеренных осадков x_i.

Средняя годовая сумма осадков получается суммированием исправленных месячных сумм.

Исправленные средние многолетние суммы (нормы) осадков для каждого месяца по станциям и постам опубликованы в «Справочнике по климату СССР», часть IV, табл. 1а. В этой таблице помещены суммы (нормы) осадков, приведенные к показаниям осадкомера Третьякова и исправлены поправками на смачивание и ветровое воздействие. Поправки на испарение E к моменту выхода Справочника еще не были определены. Чтобы получить полностью исправленную норму осадков, нужно из табл. 1 того же Справочника выбрать измеренную сумму осадков x' для интересующего нас пункта, умножить ее на

Таблица 2.21

Средние по административным районам СССР поправочные коэффициенты к нормам годовых осадков, измеренных дождемером

Область, край, АССР, автономная область, национальный округ	Коэффициент
РСФСР	
Архангельская	1,43
Вологодская	1,42
Ленинградская	1,28
Мурманская	1,45
Новгородская	1,28
Карельская АССР	1,33
Коми АССР	1,43
Псковская	1,28
Брянская	1,27
Владимирская	1,30
Ивановская	1,35
Калининская	1,26
Калужская	1,25
Костромская	1,36
Московская	1,25
Орловская	1,27
Рязанская	1,27
Смоленская	1,25
Тульская	1,27
Ярославская	1,30
Горьковская	1,40
Кировская	1,40
Марийская АССР	1,40
Мордовская АССР	1,37
Чувашская АССР	1,37
Белгородская	1,30
Воронежская	1,30
Курская	1,30
Липецкая	1,30
Тамбовская	1,30
Астраханская	1,37
Волгоградская	1,36
Куйбышевская	1,37
Пензенская	1,35
Саратовская	1,36
Ульяновская	1,36
Башкирская АССР	1,37
Калмыцкая АССР	1,35
Татарская АССР	1,37
Краснодарский край	1,19
Ставропольский край	1,24
Дагестанская АССР	(1,32)
Ростовская	1,28
Кабардино-Балкарская АССР	(1,25)
Северо-Осетинская АССР	(1,27)
Чечено-Ингушская АССР	(1,30)
Курганская	1,36
Оренбургская	1,36
Пермская	1,37
Свердловская	1,35
Тюменская (вся), в том числе:	1,46
Ямало-Ненецкий национальный округ	1,56
Ханты-Мансийский национальный округ	1,38
Тюменская (собственно)	1,37
Челябинская	1,35
Удмуртская АССР	1,38
Алтайский край	1,36
Кемеровская	1,38
Новосибирская	1,38
Омская	1,38
Томская	1,38
Красноярский край (собственно) и Хакасская а. о	1,32
Эвенкийский национальный округ	1,40
Таймырский национальный округ	1,50
Иркутская	1,25
Читинская	1,20
Бурятская АССР	1,20
Тувинская АССР	1,30
Приморский край	1,22
Хабаровский край	1,20
Амурская	1,20
Камчатская	1,28
Магаданская	1,35
Чукотский национальный округ	1,40
Якутская АССР	1,35
Сахалинская	1,28

Область, край, АССР, автономная область, национальный округ	Коэффициент
УКРАИНСКАЯ ССР	
Днепропетровская	1,25
Донецкая	1,25
Запорожская	1,20
Кировоградская	1,20
Луганская	1,20
Полтавская	1,25
Сумская	1,22
Харьковская	1,25
Винницкая	1,20
Волынская	1,20
Житомирская	1,22
Закарпатская	1,18
Ивано-Франковская	1,19
Киевская	1,20
Львовская	1,20
Ровенская	1,19
Тернопольская	1,20
Хмельницкая	1,20
Черкасская	1,17
Черниговская	1,20
Черновицкая	1,20
Крымская	1,20
Николаевская	1,21
Одесская	1,22
Херсонская	1,29
МОЛДАВСКАЯ ССР	1,20
БЕЛОРУССКАЯ ССР	
Минская	1,25
Брестская	1,25
Витебская	1,25
Гомельская	1,25
Гродненская	1,25
Могилевская	1,25
ЭСТОНСКАЯ ССР	1,25
ЛАТВИЙСКАЯ ССР	1,25
ЛИТОВСКАЯ ССР	1,25
ГРУЗИНСКАЯ ССР	(1,25)
АЗЕРБАЙДЖАНСКАЯ ССР	(1,25)
АРМЯНСКАЯ ССР	(1,25)

Область, край, АССР, автономная область, национальный округ	Коэффициент
КАЗАХСКАЯ ССР	
Актюбинская	1,30
Гурьевская	1,40
Уральская	1,35
Кокчетавская	1,35
Кустанайская	1,40
Павлодарская	1,35
Северо-Казахстанская	1,35
Целиноградская	1,35
Джамбулская	1,25
Кзыл-Ординская	1,36
Чимкентская	(1,30)
Алма-Атинская	1,20
Карагандинская	1,40
Восточно-Казахстанская	1,30
Семипалатинская	1,35
УЗБЕКСКАЯ ССР	
Андижанская	1,25
Бухарская	1,30
Самаркандская	1,30
Сурхандарьинская	1,30
Сырдарьинская	1,30
Ташкентская	1,30
Ферганская	1,25
Хорезмская	1,30
Каракалпакская АССР	1,35
Кашкадарьинская	1,30
КИРГИЗСКАЯ ССР	(1,25)
Ошская	(1,25)
ТАДЖИКСКАЯ ССР	(1,25)
Горно-Бадахшанская а. о.	(1,25)
ТУРКМЕНСКАЯ ССР	(1,30)

величину E, снятую с карт приложения IV- XV и выраженную в сотых долях; полученную таким образом поправку Δx_E прибавить к норме осадков, выбранной из табл. 1а для того же пункта (станции или поста).

Для приближенных расчетов средних многолетних осадков для водосбора можно пользоваться суммарным средним поправочным коэффициентом (табл. 2.21) путем умножения его величины на сумму осадков, измеренных дождемером.

Расчет средних многолетних сумм осадков, измеренных дождемером (который был заменен осадкомером Третьякова в 1950—1956 гг.), может быть произведен с помощью поправочных коэффициентов к нормам годовых осадков, приведенных в табл. 2.21. Однако следует учитывать, что эти поправки получены на уровне исследований 1965 г.

Как видно из табл. 2.21, поправочные коэффициенты изменяются по территории Советского Союза в широких пределах: от 1,17—1,20 до 1,50—1,56.

Степень надежности поправочных коэффициентов, а следовательно, и величин средних годовых осадков, неодинакова для разных районов страны. Достаточно достоверно [с точностью $\pm(5—10)$ %] они установлены для равнинных территорий Европейской части Советского Союза; для районов побережья Северного Ледовитого океана и для горных областей требуется дальнейшее их уточнение.

Вычисление среднего слоя осадков на водосборе

После введения поправок в данные по осадкам по каждой станции средний слой осадков для водосбора реки может быть вычислен одним из следующих способов.

Способ средней арифметической — средний слой осадков вычисляется как среднее арифметическое из показаний всех метеорологических станций, расположенных на территории рассматриваемого водосбора.

Этот простой способ дает вполне удовлетворительные результаты для равнинных районов при сравнительно равномерном размещении пунктов наблюдений.

Метод квадратов — площадь водосбора разбивается на сеть равновеликих квадратов (рис. 2.17 *а*), с помощью которых высота слоя осадков для бассейна определяется делением суммы средних значений осадков для всех квадратов на число квадратов. При этом средняя величина осадков для каждого квадрата вычисляется как среднее арифметическое из значений слоя осадков всех станций, попадающих в данный квадрат, либо приравнивается величине осадков той станции, которая попадает в квадрат.

В целях контроля выполненного расчета вычисления повторяются при иной разбивке квадратов. Разница в результатах при обоих подсчетах не должна превышать 5%.

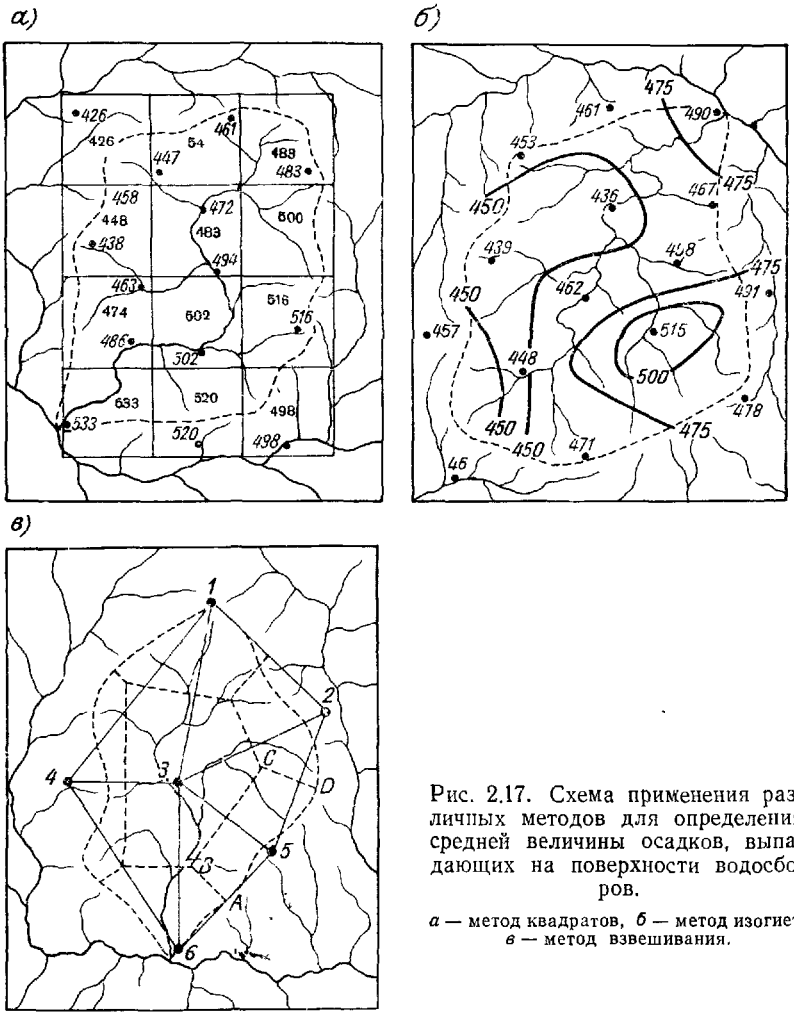


Рис. 2.17. Схема применения различных методов для определения средней величины осадков, выпадающих на поверхности водосборов.

а — метод квадратов, *б* — метод изогиет, *в* — метод взвешивания.

Способ изогиет — заключается в построении линий равных количеств осадков (изогиет) (рис. 2.17 *б*) и вычислении средней высоты слоя осадков для бассейна по формуле, аналогичной формуле (1.6), в которой для данного случая H — полусумма значений осадков по соседним изогистам, а f — частные площади, заключенные между изогиетами.

Метод взвешивания — устанавливаются размеры отдельных участков водосборной площади, примыкающих к различным метеорологическим станциям, расположенным в пределах водосбора или вблизи него. Размеры этих участков и определяют тот вес, с которым должны быть приняты осадки той или иной станции для вычисления слоя осадков в бассейне.

Размеры площади, относящиеся к каждой станции, определяются следующим образом. Пункты наблюдений над осадками соединяются прямыми линиями, которыми водосбор разбивается на сеть треугольников (рис. 2.17 *в*). Из середины каждой стороны треугольника проводятся перпендикуляры, которые, пересекаясь в одной точке, определяют границы участка, прилегающего к данной станции. Так, например, на рис. 2.17 *в* границей участка для станции № 5 является контур *ABC*.

Определив площади участков, относящихся к каждой станции, вычисляют слой осадков для всего бассейна по формуле, также аналогичной формуле (1.6),

$$H_{ср} = \frac{h_1 f_1 + h_2 f_2 + \ldots + h_n f_n}{F}, \qquad (2.22)$$

где $H_{ср}$ — средняя высота слоя осадков в *мм*; h — величина осадков соответствующей станции в *мм*; f — площади участков бассейна, тяготеющих к каждой станции, в $км^2$; F — общая площадь водосбора в $км^2$.

§ 2.5. РАСЧЕТ ИСПАРЕНИЯ С ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Испарение с водоемов средних размеров

($f_{оз} = 5 \div 40\ км^2$)

При наличии данных метеорологических наблюдений над поверхностью водоема величина испарения вычисляется по формуле

$$E = 0{,}14n\,(e_0 - e_{200})\,(1 + 0{,}72u_{200}), \qquad (2.23)$$

где E — испарение в *мм*; e_0 — среднее значение максимальной упругости водяного пара, вычисленное по температуре поверхности воды, в *мб*; e_{200} — среднее значение абсолютной влажности воздуха над водоемом на высоте 200 *см* в *мб*; u_{200} — средняя скорость ветра над водоемом на высоте 200 *см* в *м/сек*; n — число суток в расчетном периоде.

Величины e_0, e_{200} и u_{200} осредняются для всех точек наблюдений над акваторией водоема. При расчете среднего многолетнего испарения значения гидрометеорологических элементов осредняются за весь период наблюдений для каждого месяца.

При отсутствии данных наблюдений над элементами, входящими в формулу (2.23), испарение рассчитывается по материа-

лам ближайших к водоему метеорологических станций. Методика определения элементов излагается ниже.

А. Для расчета средней скорости ветра в районе водоема выбираются две-три станции, одна из которых принимается в качестве опорной, остальные считаются контрольными и выбираются таким образом, чтобы они отличались от опорной по степени их защищенности. За опорную принимается станция с наиболее длинным рядом наблюдений, местоположение, защищенность и тип флюгера которой в течение расчетного периода (не менее 15—20 лет) не менялись.

Значение средней скорости ветра над водоемом на высоте 200 *см* над водной поверхностью u_{200} по показаниям флюгера, установленного на суше, определяется по формуле

$$u_{200} = k_1 k_2 k_3 u_{\text{ф}}, \qquad (2.24)$$

где k_1 — коэффициент, учитывающий степень защищенности станции на суше, определяемый по табл. 2.22; k_2 — коэффициент, учитывающий характеристику рельефа в пункте наблюдений, определяемый по табл. 2.23; k_3 — коэффициент, учитывающий среднюю длину разгона воздушного потока над водоемом при различной его защищенности, определяемый по табл. 2.24; $u_{\text{ф}}$ — скорость ветра на высоте флюгера за расчетный интервал (месяц, декаду) в *м/сек*.

Средняя длина разгона воздушного потока над водоемом $L_{\text{ср}}$ определяется следующим образом.

На плане водоема строятся две системы прямоугольных сеток из параллельных профилей, ориентированных в первом случае с севера (С) на юг (Ю) и с запада (З) на восток (В), а во втором — с северо-запада (СЗ) на юго-восток (ЮВ) и с северо-востока (СВ) на юго-запад (ЮЗ). Расстояние между профилями выбирается с таким расчетом, чтобы они пересекали участки водоема с характерными для него сужениями и расширениями. Средняя длина разгона L_i для профиля данного направления вычисляется как среднее арифметическое из длин всех профилей этого направления.

Средняя длина разгона вычисляется по формуле

$$L_{\text{ср}} = \frac{1}{100}\left[L_{\text{С}-\text{Ю}}(N_{\text{С}} + N_{\text{Ю}}) + L_{\text{З}-\text{В}}(N_{\text{З}} + N_{\text{В}}) + \right.$$
$$\left. + L_{\text{СЗ}-\text{ЮВ}}(N_{\text{СЗ}} + N_{\text{ЮВ}}) + L_{\text{СВ}-\text{ЮЗ}}(N_{\text{СВ}} + N_{\text{ЮЗ}})\right], \qquad (2.25$$

где $L_{\text{С}-\text{Ю}}$, $L_{\text{З}-\text{В}}$ и т. д. — средняя длина разгона воздушного потока по соответствующим направлениям профилей в *км*; $(N_{\text{С}} + N_{\text{Ю}})$, $(N_{\text{З}} + N_{\text{В}})$ и т. д. — сумма повторяемостей направлений ветра в % для двух взаимно противоположных румбов.

Для водоемов с отношением длины к его ширине меньше 2 : 1 при определении $L_{\text{ср}}$ можно ограничиться построением одной сетки профилей.

Таблица 2.22

Значения коэффициента k_1 в формуле (2.24)

Местоположение и степень защищенности метеостанции на суше	k_1
Лесная зона	
Станция в лесу или большом городе	
флюгер на уровне верхушек деревьев или строений	2,4
флюгер выше окружающих препятствий	2,2
На окраине города или большого селения; отдельные строения или деревья выше флюгера	2,0
В селении, в саду или на окраине города; строения и деревья ниже флюгера	1,8
На открытой ровной площадке; ближайшие препятствия — деревья, дома, возвышенности на расстоянии 20—30-кратной высоты флюгера	1,5
Поле, луг, аэродром; с одной стороны в 200—500 *м* лес или строения города (большого селения)	1,3
Безлесные районы	
Станция в городе или большом селении	
флюгер на уровне верхушек деревьев или жилых домов	1,5
флюгер выше окружающих препятствий	1,3
Станция в степи или на окраине большого селения; отдельные дома или строения с одной стороны в 100—200 *м*; флюгер доминирует над местностью	1,0
Берега морских заливов, озер и больших рек	
Берег облесен или застроен домами, многие из которых выше флюгера	1,3
Берег открытый; станция в 200—300 *м* от уреза, в 100—200 *м* — лес или строения	1,1
Совершенно открытый берег	0,9
На оконечности далеко вдающегося в водоем открытого мыса	0,8

Таблица 2.23

Значения коэффициента k_2 в формуле (2.24)

Характеристика рельефа в районе метеостанции	k_2
Вершина крутого холма	0,75
Вершина пологого холма или верхняя часть склона	0,9
Равнина, весьма широкая долина	1,0
Нижняя часть склона, дно нешироких и неглубоких долин, котловин, лощин	1,1
Дно глубоких долин, котловин, лощин	1,3

Таблица 2 24

Значения коэффициента k_3 в формуле (2.24)

Средняя высота растительности на берегах водоема, *м*	Средняя длина разгона воздушного потока, *км*								
	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	3	5	>5
Трава, 0,1	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,0
Кустарник, 5,0	0,40	0,55	0,70	0,85	0,95	0,95	1,00	1,00	1,0
Лес, 20,0	0,15	0,25	0,40	0,60	0,75	0,85	0,90	0,95	1,0

Определив значения коэффициентов k_1, k_2, k_3, по формуле 2,24, рассчитывают среднюю скорость ветра над водоемом на высоте 200 *см* за отдельные интервалы (месяц, декада) каждого года. Таким же путем производится контрольный расчет скорости ветра над водоемом по другим станциям за ряд лет, совпадающих с периодом наблюдений по опорной станции.

Расхождение полученных средних месячных значений скорости ветра по опорной и контрольным станциям не должно превышать 25%, а сезонных — 12%. При бо́льших расхождениях *выбирается другая опорная станция.*

Скорость ветра над водоемом, не менее 25—30% поверхности которого покрыто водной растительностью (тростник, камыш, рогоз), уменьшается на 15%.

Б. Максимальная упругость водяного пара e_0 определяется по температуре поверхности воды $t_{ср}$ по приложению 4. Температура поверхности воды рассматриваемого водоема может быть принята по аналогии с водоемом с аналогичными условиями питания и близкими значениями площади и глубины или получена следующим способом.

1. Вычисляется суммарное количество тепла Ф, поглощенное водой, по уравнению

$$\Phi = S_р + S_а + S_г + a_3 t'_{200} + a_6 e'_{200}, \qquad (2.26)$$

где $S_р$ — поглощенная водой суммарная солнечная радиация в *кал/см² сутки*; $S_а$ — поглощенное водой встречное излучение атмосферы в *кал/см² сутки*; $S_г$ — теплообмен водной массы с ложем водоема в *кал/см² сутки*; t'_{200} и e'_{200} — средние месячные температура (°С) и влажность воздуха (*мб*) на высоте 200 *см* по данным континентальной метеостанции, расположенной в районе водоема (но не на его берегу); a_3 и a_6 — параметры, зависящие от скоростн ветра н длнны разгона воздушного потока над водоемом; при $L_{ср}=5$ *км* и $u_{200}=4$ *м/сек* a_3 и a_6 соответственно равны 17,6 и 26,7.

Величина $S_р$ определяется с помощью приложения 5 в зависимости от широты местности и общей и нижней облачности.

В полупустынных и пустынных районах, если реальный водоем имеет длину разгона воздушного потока менее 5 *км*, полученные значения $S_р$ умножаются на коэффициент 1,1, а в случае когда берега незамерзшего водоема покрыты снегом,— на 1.3.

Величина $S_а$ вычисляется по формуле

$$S_а = (b_1 + b_2)\,\sigma T_{200}^4, \tag{2.27}$$

где T_{200} — абсолютная средняя месячная температура воздуха по данным наблюдений на континентальной метеостанции; b_1 и b_2 — параметры, зависящие от абсолютной влажности воздуха и облачности (общей и нижней); принимаются по табл. 2.25 и 2.26; $\sigma T_{200}^4 = \sigma(273{,}16 + t'_{200})^4$ и определяется по табл. 2.27.

Приближенные значения теплообмена воды с ложем водоема $S_г$ берутся из табл. 2.28.

2. По величине Ф из табл. 2.29 находится значение установившейся температуры воды для условного водоема $t_{0\,у}$ в предположении, что разность температуры воды и воздуха равна нулю. Под условным водоемом подразумевается водоем, глубина которого стремится к нулю, а длина разгона при скорости ветра 4 *м/сек* равна 5 *км*.

3. Вычисляется поправка к температуре воды условного водоема, учитывающая фактическое различие температуры поверхности воды и воздуха

$$\Delta_1 = 0{,}14\,(t_{0у} - t'_{200}). \tag{2.28}$$

4. Вычисляется окончательное значение установившейся температуры поверхности воды условного водоема при действительных соотношениях температуры воды и воздуха

$$t_у = t_{0у} - \Delta_1. \tag{2.29}$$

5. Определяется начальная $t_н$ и конечная $t_к$ температура поверхности воды за каждый месяц безледоставного периода.

За начальную принимается температура воды первого расчетного месяца в первый день после очищения водоема ото льда весной, равная 2,5°. Если расчет производится для незамерзшего водоема, то $t_н$ принимается по аналогии с другими, существующими в данном районе незамерзшими водоемами. При отсутствии таких данных расчет температуры поверхности воды следует начинать с июля, принимая за начальную температуру воды $t_н$ за июль.

Таблица 2.25

Значении параметра b_1 в формуле (2.27)

e мб	Общая облачность N_0 баллы										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,1	0,53	0.53	0,42	0,37	0,32	0,26	0,21	0,16	0,11	0,05	0,0
0,2	0,57	0,51	0,46	0,40	0,34	0,28	0,23	0,17	0,11	0,06	0,0
0,3	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,24	0,18	0,12	0,06	0,0
0,4	0,62	0,55	0,49	0,43	0,37	0,31	0,25	0,18	0,12	0,06	0,0
0,5	0,63	0,56	0,50	0,44	0,38	0,31	0,25	0,19	0,13	0,06	0,0
0,6	0,64	0,57	0,51	0,45	0,38	0,32	0,26	0,19	0,13	0,06	0,0
0,8	0,65	0,59	0,52	0,46	0,39	0,33	0,26	0,20	0,13	0,07	0,0
1,0	0,67	0,60	0,53	0,47	0,40	0,33	0,27	0,20	0,13	0,07	0,0
1,2	0,68	0,61	0,54	0,48	0,41	0,34	0,27	0,20	0,14	0,07	0,0
1,5	0,69	0,62	0,55	0,48	0,42	0,35	0,28	0,21	0,14	0,07	0,0
2,0	0,71	0,64	0,57	0,50	0,43	0,35	0,28	0,21	0,14	0,07	0,0
3,0	0,73	0,66	0,58	0,51	0,44	0,37	0,29	0,22	0,15	0,07	0,0
4,0	0,75	0,67	0,60	0,52	0,45	0,37	0,30	0,23	0,15	0,07	0,0
5,0	0,76	0,68	0,61	0,53	0,46	0,38	0,30	0,23	0,15	0,08	0,0
6,0	0,77	0,69	0,62	0,54	0,46	0,38	0,31	0,23	0,15	0,08	0,0
8,0	0,78	0,71	0,63	0,55	0,47	0,39	0,31	0,23	0,15	0,08	0,0
10	0,79	0,72	0,64	0,56	0,48	0,40	0,32	0,24	0,16	0,08	0,0
12	0,80	0,72	0,64	0,56	0,48	0,40	0,32	0,24	0,16	0,08	0,0
15	0,81	0,73	0,65	0,57	0,49	0,41	0,33	0,24	0,16	0,08	0,0
20	0,83	0,74	0,66	0,58	0,50	0,41	0,33	0,25	0,17	0,08	0,0
25	0,84	0,75	0,67	0,59	0,50	0,42	0,33	0,25	0,17	0,08	0,0
30	0,84	0,76	0,68	0,59	0,51	0,42	0,34	0,25	0,17	0,08	0,0

Таблица 2.26

Значения параметра b_2 в формуле (2.27)

Общая облачность, баллы	Нижняя облачность $N_н$, баллы										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	t'_{200} от —40 до +12° С										
0	0										
1	0,08	0,10									
2	0,17	0,18	0,19								
3	0,25	0,27	0,28	0,29							
4	0,34	0,35	0,36	0,38	0,39						
5	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,49					
6	0,51	0,52	0,53	0,55	0,56	0,57	0,58				
7	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,66	0,67	0,68			
8	0,68	0,69	0,70	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,78		
9	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	
10	0,85	0,86	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97
	t'_{200} от +20 до +30° С										
0	0										
1	0,08	0,09									
2	0,17	0,18	0,19								
3	0,25	0,26	0,27	0,28							
4	0,34	0,35	0,36	0,36	0,37						
5	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47					
6	0,51	0,52	0,53	0,53	0,54	0,55	0,56				
7	0,60	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,64	0,65			
8	0,68	0,69	0,70	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,74		
9	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,80	0,81	0,82	0,83	0,83	
10	0,85	0,86	0,87	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,93

Таблица 2.27

Значения σT_{200}^4 *кал/см² сутки* **при** $\sigma = 0{,}825 \cdot 10^{-10}$ *кал/см² мин · град⁴*

Температура, С	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670
1	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680
2	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690
3	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700
4	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710
5	711	712	713	714	715	716	717	718	719	721
6	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731
7	732	733	734	735	736	738	739	740	741	742
8	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752
9	753	754	756	757	758	759	760	761	762	763
10	764	765	766	767	768	770	771	772	773	774
11	775	776	777	778	779	781	782	783	784	785
12	786	787	788	789	790	792	793	794	795	796
13	797	798	799	800	801	802	804	805	806	807
14	808	809	810	811	812	814	815	816	817	818
15	819	820	821	822	824	825	826	827	828	829
16	831	832	833	834	835	836	838	839	840	841
17	842	843	844	846	847	848	849	850	851	852
18	854	855	856	857	858	860	861	862	863	864
19	865	866	868	869	870	871	872	874	875	876
20	877	878	879	881	882	883	884	886	887	888
21	889	891	892	893	894	896	897	898	899	900
22	902	903	904	906	907	908	909	910	912	913
23	914	915	917	918	919	920	922	923	924	925
24	927	928	929	930	932	933	934	935	936	938
25	939	940	942	943	944	945	947	948	949	950
26	952	953	954	956	957	958	959	961	962	963
27	965	966	967	968	970	971	972	974	975	976

Температура, °С	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
28	977	979	980	981	982	984	985	986	988	989
29	990	991	993	994	995	997	998	999	1000	1002
30	1003	1004	1006	1007	1008	1010	1011	1012	1014	1015
31	1017	1018	1019	1021	1022	1023	1025	1026	1027	1029
32	1030	1032	1033	1034	1036	1037	1038	1040	1041	1042
33	1044	1045	1046	1048	1049	1051	1052	1053	1055	1056
34	1057	1059	1060	1061	1062	1064	1066	1067	1068	1070
35	1071	1072	1074	1075	1077	1078	1080	1081	1082	1084
36	1085	1087	1088	1090	1091	1093	1094	1095	1097	1098
37	1100	1101	1103	1104	1106	1107	1108	1110	1111	1113
38	1114	1116	1117	1118	1120	1121	1123	1124	1126	1127
39	1129	1130	1131	1133	1134	1136	1137	1139	1140	1142
40	1143									
—	661	660	659	658	657	656	655	654	653	652
—1	652	651	650	649	648	647	646	645	644	643
—2	642	641	640	639	638	638	637	636	636	635
—3	634	633	631	630	629	628	627	626	625	624
—4	623	622	622	621	620	619	618	617	616	615
—5	614	613	612	611	610	610	609	608	607	606
—6	605	604	603	602	602	601	600	599	598	597
—7	596	596	595	594	593	592	591	590	589	588
—8	588	587	586	585	584	583	582	581	580	580
—9	579	578	577	576	575	574	574	573	572	571
—10	570	569	568	567	567	566	565	564	563	563
—11	562	561	560	559	558	557	556	556	555	554
—12	553	552	552	551	550	549	548	547	516	546
—13	545	544	543	542	541	541	541	539	538	537
—14	536	536	535	534	533	532	531	530	530	529
—15	528	527	526	526	525	524	523	522	522	521

Температура, °С	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
—16	520	519	518	518	517	516	515	514	514	513
- 17	512	511	510	510	509	508	507	506	506	505
- 18	504	503	502	502	501	500	199	498	498	497
—19	496	495	494	494	493	492	491	490	490	489
—20	488	487	486	486	485	484	483	483	482	481
—21	480	480	479	478	477	477	476	475	474	474
—22	473	472	471	470	470	469	468	467	467	466
—23	465	464	464	463	462	461	461	460	459	458
- 24	458	457	456	455	451	454	453	452	452	451
- 25	450	449	449	448	447	446	446	145	444	444
- 26	443	442	442	441	440	140	439	438	437	437
—27	436	435	435	434	433	432	432	431	430	430
- 28	429	428	428	427	426	426	425	425	424	423
- 29	422	421	421	420	419	118	418	417	416	416
—30	415	414	414	413	412	412	411	410	410	409

Таблица 2.28

Приближенные значения теплообмена воды с грунтом дна S_1 в *кал/см² сутки*

Широта (северная)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
30°	26	14	—8	—40	—33	—32	—21	—10	5	30	33	36
40	22	12	2	—30	—33	—33	—22	—10	7	28	31	28
50	14	9	8	—15	—32	—34	—24	—9	9	21	27	21
60	10	7	6	1	—30	—34	—25	—8	11	23	24	14
70	8	5	4	5	—20	—35	—27	—8	13	21	20	9

Значения t_{0y} в зависимости от Ф при $u_{200}=4$ *м/сек* и $L_{ср}=5$ *км*

t_{0y}	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
—10	450									
—9	485	482	478	474	471	468	464	460	457	454
—8	520	516	513	510	506	502	499	496	492	488
—7	555	552	548	544	541	538	534	530	527	524
—6	590	586	583	580	576	572	569	566	562	558
—5	620	617	614	611	608	605	602	599	596	593
—4	660	656	652	648	644	640	636	632	628	624
—3	690	687	684	681	678	675	672	669	666	663
—2	730	726	722	718	714	710	706	702	698	694
—1	770	766	762	758	754	756	746	742	738	734
$\leqslant 0$	810	806	802	798	794	790	786	782	778	774
$\geqslant 0$	810	814	818	822	826	830	834	838	842	846
1	850	854	858	862	866	870	874	878	882	886
2	890	894	898	902	906	910	914	918	922	926
3	930	934	939	944	948	952	957	962	966	970
4	975	979	983	987	991	995	999	1003	1007	1011
5	1015	1020	1024	1028	1033	1038	1042	1046	1051	1056
6	1060	1065	1070	1075	1080	1085	1090	1095	1100	1105
7	1110	1114	1119	1123	1128	1132	1137	1142	1146	1150
8	1155	1160	1165	1170	1175	1180	1185	1190	1195	1200
9	1205	1210	1216	1222	1227	1232	1238	1244	1249	1254
10	1260	1265	1270	1275	1280	1285	1290	1295	1300	1305
11	1310	1366	1321	1326	1332	1338	1343	1348	1351	1360
12	1365	1370	1376	1382	1387	1392	1398	1404	1409	1414
13	1420	1426	1431	1436	1442	1448	1453	1458	1464	1470
14	1475	1481	1487	1493	1499	1505	1511	1517	1523	1529
15	1535	1540	1546	1552	1557	1562	1568	1574	1579	1584
16	1590	1596	1603	1608	1616	1622	1629	1636	1642	1648
17	1655	1662	1668	1674	1681	1688	1694	1700	1707	1714
18	1720	1726	1733	1740	1746	1752	1759	1766	1772	1778
19	1785	1792	1799	1806	1813	1820	1827	1834	1841	1848
20	1855	1862	1870	1878	1885	1892	1900	1908	1915	1922
21	1930	1937	1944	1951	1958	1965	1972	1979	1986	1993
22	2000	2008	2016	2024	2032	2040	2048	2056	2061	2072
23	2080	2088	2095	2102	2110	2118	2125	2132	2140	2148
24	2155	2164	2172	2180	2189	2198	2206	2214	2223	2232
25	2240	2248	2257	2265	2274	2282	2291	2300	2308	2316
26	2325	2334	2343	2352	2361	2370	2379	2388	2397	2406
27	2415	2424	2432	2440	2449	2458	2466	2474	2483	2492
28	2500	2510	2520	2530	2540	2550	2560	2570	2580	2590
29	2600	2610	2620	2630	2640	2650	2660	2670	2680	2690
30	2700	2710	2720	2730	2740	2750	2760	2770	2780	2780

Значение конечной для каждого месяца температуры воды $t_к$ вычисляется по формуле

$$t_к = t_н + (t_у - t_п)\, k_к + \Delta t_к, \qquad (2.30)$$

где $k_к$ — коэффициент, зависящий от μH (произведение коэффициента μ на среднюю глубину водоема) и $t_у$; он определяется по графику на рис. 2.19. Величина μH находится по графику на рис. 2.18 в зависимости от средней глубины и длины разгона воздушного потока над реальным водоемом; в тех случаях, когда глубина водоема больше обозначенной на рис. 2.18, значения μH снимаются с огибающей кривой в точке, соответствующей данной длине разгона. Например, при $L_{ср}=20$ *км* и $H=$

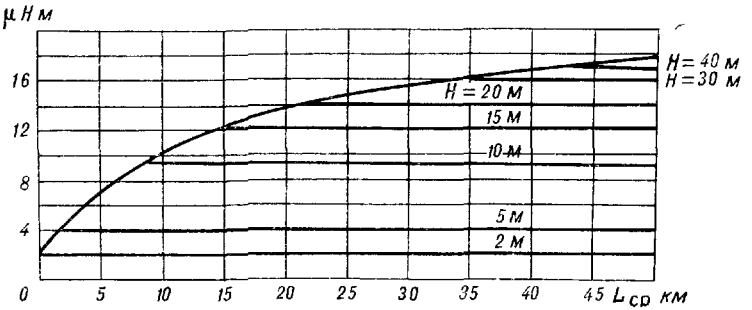


Рис. 2.18. Зависимость μH от $L_{ср}$ и H.

$=15$ *м* будем иметь $\mu H=12$ *м*, а при $L_{ср}=20$ *км* и $H=20$ *м* величину μH снимаем с огибающей кривой ($\mu H=13{,}7$ *м*).

Поправка $\Delta t_к$ зависит от μH и интенсивности изменения установившейся температуры воды в данном месяце; определяется по графику на рис. 2 19 *б*.

Интенсивность изменения $t_у$ для данного месяца вычисляется по формуле

$$\Delta t_у = \frac{t_{у\,(n-1)} - t_{у\,(n-1)}}{2}, \qquad (2.31)$$

где $t_{у(n-1)}$ и $t_{у(n-1)}$ — установившаяся температура последующего и предыдущего месяцев. Расчет ведется последовательно от месяца к месяцу. Для последующих месяцев $t_п$ принимается равной $t_к$ предшествующего месяца.

6. Средняя месячная температура поверхности воды $t_{ср}$ для условного водоема ($L_{ср}=5$ *км* и $u_{200}=4$ *м/сек*) с фактической средней глубиной вычисляется по формуле

$$t_{ср} = t_н + (t_у - t_н)\, k_{ср} + \Delta t_{ср}, \qquad (2.32)$$

где значения $k_{ср}$ и $\Delta t_{ср}$ находятся по графикам (рис. 2.20) в зависимости от $t_у$, μH и $\Delta t_у$.

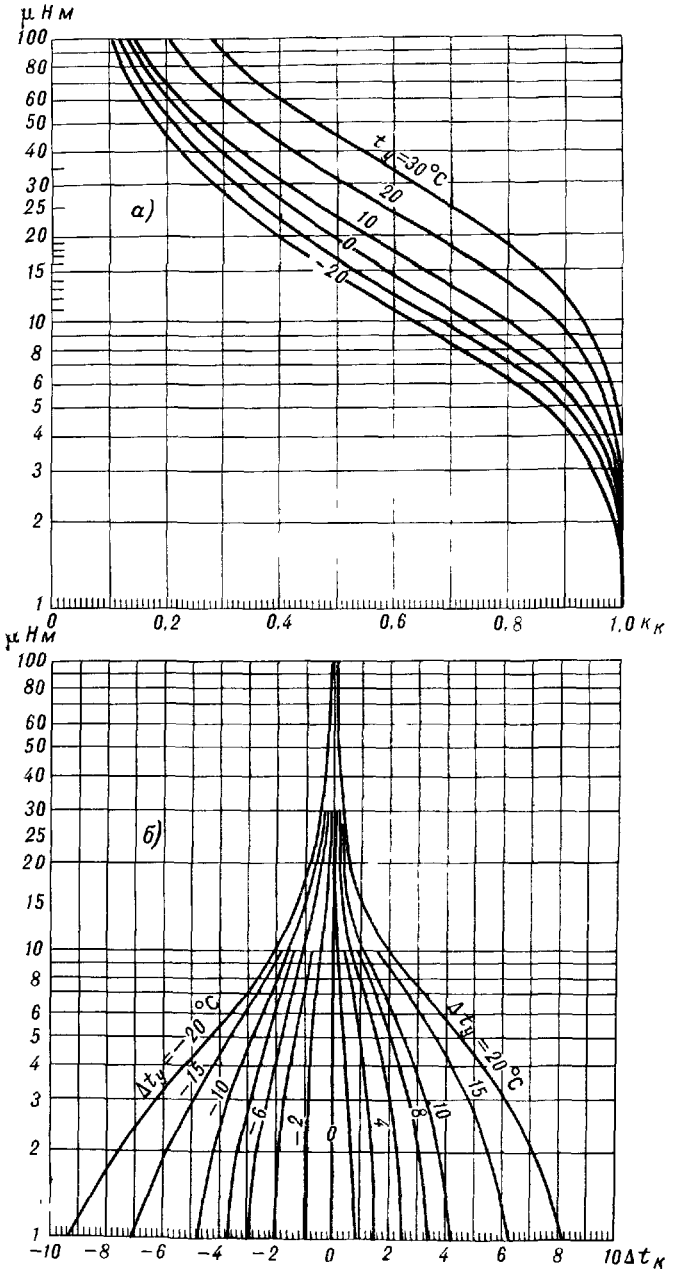


Рис. 2.19. Графики для определения $k_к$ (*а*) и $\Delta t_к$ (*б*).

Если даты очищения водоема ото льда весной и замерзания его осенью не совпадают с началом или концом месяца, то при расчете $t_к$ и $t_{ср}$ значения $t_у$ принимаются за неполный месяц. Средние за периоды от даты вскрытия водоема до конца месяца и от начала месяца до даты замерзания величины $t_у$ определяются графической интерполяцией между средними месячными величинами по трем точкам — за предыдущий, текущий и последующий месяцы. Аналогичным образом определяются за неполные месяцы и значения t'_{200} и e'_{200}. Значения μH, $\Delta t_к$ и

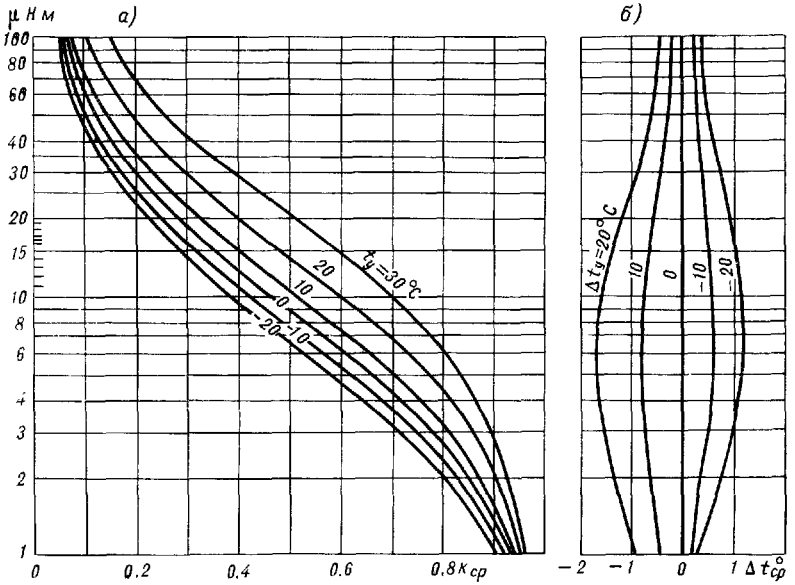


Рис. 2.20. Графики для определения $k_{ср}$ (*а*) и $\Delta t_{ср}$ (*б*).

$\Delta t_{ср}$ за периоды менее месяца, например за n суток, определяются умножением их месячных величин на $\frac{30,4}{n}$ для μH и на $\frac{n}{30,4}$ для $\Delta t_к$ и $\Delta t_{ср}$. Величина $t_{ср}$ характеризует температуру поверхности воды реального водоема.

По рассчитанным значениям $t_{ср}$, которые характеризуют температуру поверхности воды реального водоема, определяется e_0 (приложение 4).

В. Средняя по акватории влажность воздуха e_{200} рассчитывается по уравнению

$$e_{200} = e'_{200} + (0,8e_0 - e'_{200})M, \qquad (2.33)$$

где e_{200} — средняя влажность воздуха над водоемом в *мб*; e'_{200} — средняя за расчетный интервал времени влажность воздуха, измеренная на континентальной метеостанции; e_0 — максимальная упругость пара за этот же интервал времени, определяемая по температуре поверхности воды в водоеме ($t_{ср}$) в *мб*; M — коэффициент трансформации, учитывающий среднее изменение влажности и температуры воздуха в зависимости от размера водоема; определяется по табл. 2.30 в зависимости от длины разгона воздушного потока над водоемом $L_{ср}$ и разности между температурой воды в водоеме t_0 и воздуха на континентальной метеостанции t'_{200}. При этом учитываются три градации значений разности $t_0 - t'_{200}$ (см. табл. 2.30).

Таблица 2.30

Значения коэффициента трансформации M в формуле (2.33)

Соотношение температуры воды и воздуха	Средняя длина разгона воздушного потока над водоемом, *км*										
	0,0	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100
$t_0 \approx t'_{200}$	0,00	0,02	0,03	0,08	0,12	0,16	0,23	0,28	0,34	0,44	0,51
$t_0 < t'_{200}$ на 4° и более	0,00	0,03	0,06	0,13	0,18	0,24	0,33	0,38	0,45	0,53	0,60
$t_0 > t'_{200}$ на 10° и более	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,10	0,15	0,19	0,28	0,37

Г. Средняя температура воздуха t_{200} над водоемом на высоте 200 *см* рассчитывается по формуле

$$t_{200} = t'_{200} + (t_0 - t'_{200}) M, \qquad (2.34)$$

где t'_{200} — средняя за расчетный интервал времени температура воздуха на метеостанции; t_0 — температура поверхности воды; M — коэффициент трансформации, принимаемый по табл. 2.30.

Подставляя полученные величины e_0, e_{200} и u_{200} в формулу (2.23), вычисляют испарение для отдельных месяцев, а следовательно, и для сезона в целом.

Месячные (сезонные) величины испарения с водоема E_0 могут быть также определены по формуле

$$E_0 = E'_H k_u k_{L_{ср}}, \qquad (2.35)$$

где k_u — коэффициент, учитывающий фактическую скорость ветра над реальным водоемом, принимаемый по табл. 2.31;

Таблица 2.31

Значения коэффициента k_u в формуле (2.35)

u_{200}	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
2	0,86	0,87	0,87	0,88	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,92
3	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99
4	1,00	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07
5	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,14	1,15
6	1,16	1,17	1,18	1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,22	1,23
7	1,24	1,27	1,29	1,32	1,34	1,37	1,40	1,42	1,45	1,47
8	1,50									

$k_{L_{ср}}$ — коэффициент, учитывающий действительную длину разгона над водоемом, принимаемый по табл. 2.32; E'_{II} — испарение

Таблица 2.32

Значения коэффициента $k_{L_{ср}}$ в формуле (2.35)

Местоположение водоема	Средняя длина разгона воздушного потока над водоемом, *км*					
	1	5	10	20	50	100
Лесная зона	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98
Лесостепная зона	1,01	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97
Степная зона	1,03	1,00	0,98	0,97	0,97	0,96
Зона сухих степей и полупустынь	1,05	1,00	0,97	0,95	0,93	0,92
Зона пустынь	1,04	1,00	0,98	0,97	0,96	0,95
Крайний юг Средней Азии	1,04	1,00	0,98	0,97	0,95	0,94

с условного водоема, но имеющего глубину, равную глубине рассматриваемого водоема, которое вычисляется по формуле

$$E'_H = a_7 e_0 - a_8 e'_{200}. \qquad (2.36)$$

Значения коэффициентов a_7 и a_8 определяются по табл. 2.33 в зависимости от разности температур Δt поверхности воды условного водоема $t_{ср}$ (имеющего глубину, равную глубине реального водоема) и температуры воздуха на метеостанции t'_{200}

$$\Delta t = 0{,}77\,(t_{ср} - t'_{200}). \qquad (2.37)$$

Для приближенного расчета сезонных величин испарения E_0 рекомендуется формула

$$E_0 = E_{усл} k_H k_u k_{L_{ср}}, \qquad (2.38)$$

где k_H — коэффициент, учитывающий глубину реального водоема, принимаемый по табл. 2.34; k_u и $k_{L_{ср}}$ — коэффициенты те же,

Таблица 2.33

Значения коэффициентов a_7 и a_8 в формуле (2.36)

$\Delta t°$	a_7	a_8	$\Delta t°$	a_7	a_8
−5,0	12,6	11,9	0,5	14,8	14,0
−4,5	12,7	12,0	1,0	15,1	14,2
−4,0	12,8	12,1	1,5	15,3	14,5
−3,5	13,0	12,3	2,0	15,6	14,7
−3,0	13,2	12,5	2,5	15,8	14,9
−2,5	13,4	12,6	3,0	16,1	15,1
−2,0	13,6	12,8	3,5	16,3	15,3
−1,5	13,8	13,1	4,0	16,5	15,5
−1,0	14,1	13,3	4,5	16,7	15,7
−0,5	14,3	13,5	5,0	16,9	15,9
0	14,6	13,8			

Таблица 2.34

Значения коэффициента k_{II} в формуле (2.38)

Местоположение водоема	Глубина водоема, *км*				
	0,1	2	10	20	25
Лесная зона	1,00	0,96	0,93	0,90	0,88
Лесостепная зона	1,00	0,98	0,94	0,92	0,91
Степная зона	1,00	1,00	0,94	0,92	0,92
Зона полупустынь	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96

что и в формуле (2.35); $E_{усл}$ — испарение в *мм* с условного водоема (с глубиной, стремящейся к нулю, длиной разгона 5 *км* при скорости ветра 4 *м/сек*), которое вычисляется по формуле

$$E_{усл} = a_7 e_{0\,y} - a_8 e'_{200}, \qquad (2.39)$$

здесь e_{0y} — максимальная упругость водяного пара, вычисленная по установившейся температуре воды для условного водоема, в *мб*; e'_{200} — абсолютная влажность воздуха на континентальной метеостанции в *мб*; a_7 и a_8 — коэффициенты, принимаемые по табл. 2.33 и зависящие от разности Δt между установившейся температурой воды условного водоема t_y и температурой воздуха. Разность Δt определяется по формуле

$$\Delta t = 0{,}77\,(t_y - t'_{200}).$$

Расчет производится помесячно, затем величины испарения суммируются для всего сезона.

Влияние на испарение полупогруженной водной растительности (тростника, камыша, рогоза, хвоща, осоки и др.) учитывается с помощью поправочных коэффициентов (независимо от вида этой растительности), вводимых в сезонные величины испарения с открытой водной поверхности. Поправочный коэффициент соответствует доле площади, занятой полупогруженными водными растениями, и принимается по данным табл. 2.35, в которой помещены также значения коэффициентов для учета влияния дополнительного испарения с заросшей части водоема.

Таблица 2.35

Поправочные коэффициенты для учета влияния на испарение полупогруженной водной растительности

Зона	Площади зарослей водных растений в % от общей площади водоема				Коэффициент учета влияния дополнительного испарения с зарослей
	10	30	50	75	
Лесостепная и лесная	1,03	1,08	1,14	1,22	1,3
Степная и полупустынная	1,04	1,14	1,24	1,37	1,5

Для замерзающих водоемов, на которых период вегетации водной растительности продолжается с мая по октябрь, внутрисезонный ход суммарного испарения с участков, занятых водными растениями, рекомендуется определять по табл. 2.36.

Таблица 2.36

Распределение суммарного испарения с участков, занятых зарослями полупогруженных водных растений, по месяцам (в % от суммы за весь период)

Зона	V	VI	VII	VIII	IX	X
Лесная	11	22	27	23	13	4
Степная	7	23	27	25	15	3

Испарение с больших озер и водохранилищ

$(f_{оз} > 40\ км^2)$

Испарение с поверхности больших озер и водохранилищ рассчитывается по формуле (2.23). Если весь водоем расположен в одних и тех же климатических условиях и не имеет больших

по площади участков, характеризующихся резко различающимися глубинами и условиями защищенности, расчет испарения производится так же, как и для водоемов средних размеров При вытянутой или округлой форме водоема с длиной разгона воздушного потока более 20 *км* метеорологические элементы, входящие в формулу испарения, следует определять по данным нескольких опорных станций, расположенных как в северных, так и в южных частях водоема, с последующим осреднением этих элементов для всей акватории водоема.

Для весьма больших водоемов, площадью более 1000 $км^2$, на которых по условиям защищенности, глубине, гидрометеорологическим или другим особенностям имеются значительные по площади неоднородные участки, расчет испарения производится для каждого участка отдельно с последующим осреднением для всей акватории водоема.

Границы участков намечаются с учетом указанных выше особенностей, конфигурации водоема и расположения метеорологических станций. В соответствии с рекомендациями для средних водоемов для каждого участка выбирается одна опорная и две-три контрольные метеорологические станции. Расчеты средних значений скорости ветра над водной поверхностью, максимальной упругости водяного пара, вычисленной по температуре поверхности воды, абсолютной влажности воздуха и испарения производятся для каждого участка по методике, изложенной выше.

При расчетах метеорологических элементов для отдельных участков средняя длина разгона воздушного потока определяется по формуле

$$L_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{i=8} L_i N_i}{100}, \qquad (2.40)$$

где L_i — средняя длина разгона воздушного потока для профиля соответствующего направления в *км*; N_i — повторяемость направления ветра по восьми румбам в %.

Для тех румбов, при которых воздушный поток движется с основной части водоема в направлении рассматриваемого участка, пересекая его условную границу, длина конкретных профилей принимается с учетом всей протяженности водного зеркала по этому направлению, включая и находящуюся за пределами данного участка. Для румбов, при которых ветер дует с суши на водоем, длина профилей принимается только до границы рассматриваемого участка.

Средняя величина испарения со всей акватории водоема вычисляется как среднее взвешенное испарение с учетом площади

каждого участка по формуле

$$E = \frac{E_1F_1 + E_2F_2 + \ldots + E_nF_n}{F}, \qquad (2.41)$$

где $E_1, E_2, \ldots, E_n$ — испарение с отдельных участков водоема в *мм*; $F_1, F_2, \ldots, F_n$ — площадь соответствующих участков в *км*^{2}; F — общая площадь акватории водоема в *км*^{2}.

В случае отсутствия достаточного количества данных метеорологических наблюдений для оценки испарения с большого водоема пользуются методом аналогии или организуют специальные экспедиционные исследования по изучению метеорологического режима данного водоема: скорости ветра, температуры поверхности воды и влажности воздуха.

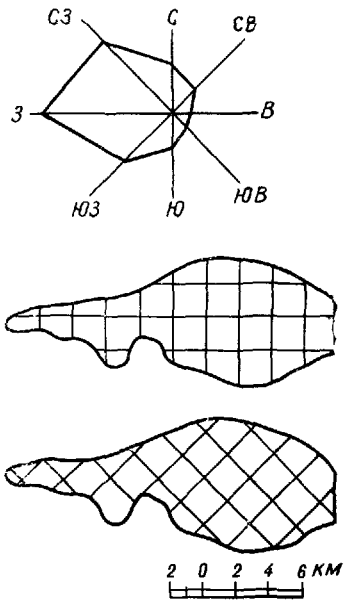


Рис. 2.21. Роза ветров и план водохранилища с профилями для определения средней длины разгона воздушного потока над водоемом.

Пример 2.10. Проектируется водохранилище с площадью зеркала 80 *км*^{2} и средней глубиной 7 *м*. Широта центра водохранилища 52° с. ш. Требуется определить среднее многолетнее испарение с водохранилища и распределение его по месяцам.

В районе проектируемого водохранилища имеется метеостанция с длинным рядом наблюдений. Станция расположена в большом населенном пункте на открытой местности. На станции имеется флюгер высотой на 10 *м* бо́льшей окружающих строений. Средняя дата вскрытия водоемов в рассматриваемом районе 10 апреля, замерзания — 23 ноября.

Решение. Определяем среднюю длину разгона воздушного потока над водоемом, значения скорости ветра, температуры поверхности воды, максимальной упругости и влажности воздуха над водной поверхностью.

1. Для определения средней длины разгона воздушного потока над водоемом строим розу ветров по выбранной метеостанции и план водоема, на котором наносим две сетки профилей, пересекающих водоем в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 2.21). Определяем значения L_i, которые в нашем примере равны $L_{С-Ю} = 4{,}6$ *км*, $L_{СВ-ЮЗ} = 5{,}6$ *км*, $L_{З-В} = 14{,}0$ *км* и $L_{ЮВ-СВ} = 6{,}6$ *км*.

В соответствии с розой ветров повторяемость направлений ветра (в %) оказалась следующей:

С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
11	7	4	4	7	15	30	22

Средняя длина разгона $L_{ср}$, вычисленная по формуле (2.25), для данного водоема равна 8,5 *км*.

2. В соответствии с местоположением метеостанции коэффициенты к скорости ветра по флюгеру равны: $k_1=1{,}3$, $k_2=1{,}0$, $k_3=1{,}0$ (см. табл. 2.22—2.24). Величины скорости ветра, измеренной по флюгеру и приведенные к высоте 200 *см* над водной поверхностью, помещены в табл. 2.37.

Таблица 2.37

Скорость ветра, *м/сек*	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
$u_ф$	4,2	3,7	3,3	3,1	2,9	3,0	3,7	4,0
u_{200}	5,4	4,8	4,3	4,0	3,8	3,9	4,8	5,2

3. Производим расчет установившейся температуры воды $t_у$ для условного водоема при $L_{ср}=5$ *км*, $u_{200}=4$ *м/сек* и глубине, стремящейся к нулю. Результаты приведены в табл. 2.38.

Таблица 2.38

Расчет установившейся температуры воды для условного водоема $t_у$

Месяц	Данные наблюдений метеостанции				b_1	b_2	σT_{200}^4	S_a
	t'_{200}	e'_{200}	N_0	$N_н$				
III	—4,0	4,5	0,9	0,9	0,08	0,85	623	580
IV	5,3	6,9	0,7	0,5	0,23	0,65	714	627
V	14,2	10,5	0,6	0,3	0,32	0,54	810	697
VI	17,8	13,6	0,6	0,4	0,32	0,55	851	741
VII	20,1	15,7	0,5	0,3	0,41	0,46	878	764
VIII	18,3	14,0	0,5	0,3	0,41	0,46	857	746
IX	12,4	10,7	0,6	0,4	0,32	0,55	790	688
X	5,7	7,7	0,7	0,6	0,23	0,65	718	632
XI	—1,2	5,2	0,8	0,7	0,15	0,74	650	579
XII	—7,0	3,5	0,9	0,9	0,07	0,85	596	549

Месяц	$S_р$	$S_г$	$a_3 t'_{200}$	$a_6 e'_{200}$	Φ	$t_{0\,у}$	$t_{0,у}-t'_{200}$	Δ'	$t_у$
III	124	8	—70	120	762	—1,2	2,3	0,4	—1,6
IV	287	—15	93	184	1176	8,4	3,1	0,4	8,0
V	419	—32	250	280	1614	16,4	2,2	0,3	16,1
VI	440	—34	314	362	1823	19,5	1,7	0,2	19,3
VII	453	—24	354	419	1966	21,5	1,4	0,2	21,3
VIII	384	—9	322	374	1817	19,5	1,2	0,2	19,3
IX	250	9	218	286	1451	13,6	1,2	0,2	13,4
X	130	24	100	206	1092	6,6	0,9	0,1	6,5
XI	61	27	—18	139	788	—0,5	0,7	0,1	—0,6
XII	31	21	—123	93	571	—6,5	0,5	0,1	—6,6

Таблица 2.39

Расчет средней месячной температуры поверхности воды $t_{ср}$
Вскрытие 10 IV, замерзание 23 XI

(по материалам наблюдений на водоемах-аналогах данной зоны)

Месяц или период	$t_у$	$\Delta t_у$	$k_к$	$t_н$	$t_у - t_н$	$(t_у - t_н)\,k_к$	$\Delta t_к$	$t_к$	$k_{ср}$	$(t_у - t_н)\,k_{ср}$	$\Delta t_{ср}$	$t_{ср}$
III	−1,6											
1—30 IV	8,0											
11—30 IV	9,3	8,8	0,82	2,5	6,8	5,6	0,8	8,9	0,53	3,6	−0,4	5,7
V	16,1	5,6	0,94	8,9	7,2	6,8	1,2	16,9	0,70	5,0	−0,4	13,5
VI	19,3	2,6	0,95	16,9	2,4	2,3	0,4	19,6	0,73	1,8	−0,2	18,5
VII	21,3	0,0	0,96	19,6	1,7	1,6	0,0	21,2	0,74	1,3	0,0	20,9
VIII	19,3	−4,0	0,95	21,2	−1,9	−1,8	−1,1	18,3	0,73	−1,4	0,2	20,0
IX	13,4	−6,4	0,93	18,3	−4,9	−4,6	−1,7	12,0	0,68	−3,3	0,4	15,4
X	6,5	−7,0	0,91	12,0	−5,5	−5,0	−1,8	5,2	0,63	−3,5	0,4	8,9
1—30 XI	−0,6											
1—23 XI	0,2	−6,6	0,82	5,2	−5,0	−4,1	−1,1	0,0	0,53	−2,7	0,4	2,9
XII	−6,6											

Таблица 2.40

Расчет величины испарения с водоема

Месяц	$t_{ср}$	t'_{200}	$t_{ср} - t'_{200}$	Δt	e_0	a_7	$a_7 e_0$	a_8	e'_{200}	$a_8 e'_{200}$	E'_H	k_u	$k L_{ср}$	E_0
IV (11—30 IV)	5,7	7,0	−1,3	−1,0	9,2	14,1	130	13,3	7,5	100	30	1,11	0,98	33
V	13,5	14,2	−0,7	−0,5	15,5	14,3	222	13,5	10,5	142	80	1,06	0,98	83
VI	18,5	17,8	0,7	0,5	21,3	14,8	316	14,0	13,6	190	126	1,02	0,98	126
VII	20,9	20,1	0,8	0,6	24,7	14,8	366	14,0	15,7	220	146	1,00	0,98	143
VIII	20,0	18,3	1,7	1,3	23,4	15,2	356	14,4	14,0	202	154	0,99	0,98	149
IX	15,4	12,4	3,0	2,3	17,5	15,7	275	14,8	10,7	158	117	0,99	0,98	113
X	8,9	5,7	3,2	2,5	11,4	15,8	180	14,9	7,7	115	65	1,06	0,98	68
XI (1—23 XI)	2,9	−0,2	3,1	2,4	7,5	15,8	118	14,9	5,5	82	27	1,10	0,98	29

4. Определяем значения $t_у$, t_{200}' и e_{200}' для неполных месяцев в начале и конце сезона путем графической интерполяции. Эти величины оказались равными:

	$t_у$	t_{200}'	e_{200}'
11—30/IV	9,8	7,0	7,5
1—23/XI	0,2	—0,2	5,5

5. Рассчитываем $t_{ср}$ с учетом глубины рассматриваемого водоема. Величину μH определяем по рис. 2.18, которая равна 6,0 *м*. Для периодов 11—30/IV и 1—23/XI значения μH умножаем на $\frac{30,4}{n}$ и получаем соответственно 9,1 и 8,0.

Результаты расчета $t_{ср}$ сведены в табл. 2.39.

6. Вычисляем величину испарения с водоема (табл. 2.40).

Значение коэффициента трансформации M для водоема с $L_{ср}=5$ *км* и $u_{200}=4$ *м/сек* при $t_{ср} \approx t_{200}'$ принимаем равным 0,23 (см. табл. 2.30).

При расчете $E_Н'$ за неполные месяцы (апрель и ноябрь) полученные величины умножаются на коэффициент $\frac{n}{30,4}$, т. е. для апреля — на 0,66, а для ноября — на 0,69.

Месячные значения E получаем путем умножения величин $E_Н'$ на коэффициент k_u и $k_{Lср}$ (табл. 2.40)

Расчет испарения за конкретные годы производится тем же способом с использованием метеоданных за те же конкретные годы.

§ 2.6. РАСЧЕТ ВОДНОГО БАЛАНСА РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ

В настоящее время систематически составляются водные балансы за гидрологические и календарные годы, а внутри года — по сезонам для ряда важных в народнохозяйственном отношении речных водосборов. Ниже приводятся рекомендации по определению основных элементов водного баланса (и его расчет), разработанные в ГГИ.

Уравнение водного баланса речного бассейна в общем виде имеет следующее выражение:

$$x = y + z + \gamma - \eta + \Delta w + \Delta v + p, \qquad (2.42)$$

где x — суммарные осадки на водосбор; y — сток реки в замыкающем створе; z — суммарное испарение с поверхности почвы, воды, снега и льда, транспирация растительности за вычетом конденсации; γ — водозабор из реки на хозяйственные нужды (водоснабжение, орошение и пр.); η — возврат в реку части вод, изъятых на удовлетворение хозяйственных потребностей (возвратные воды); Δw — изменение запасов влаги в верхнем слое почво-грунтов, определяемое по выражению

$$\Delta w = w_к - w_н,$$

(здесь $w_н$ — запасы на начало расчетного периода; $w_к$ — запасы на конец периода); Δv — изменение запасов грунтовых вод, равное $\Delta v = v_к - v_н$; p — невязка водного баланса (включая водообмен с другими водосборами и ошибки в определении всех ос-

тальных элементов водного баланса), получаемая как остаточный член уравнения водного баланса.

Все элементы водного баланса выражаются в миллиметрах слоя и вычисляются как средние для водосбора.

Уравнение (2.42) используется для расчета водного баланса за весенний, летний и осенний сезоны.

Для зимнего периода уравнение водного баланса имеет такой же вид, как и уравнение (2.42), но в него добавляется в правую часть дополнительный член $x_а$, характеризующий аккумуляцию снега на поверхности водосбора за каждый месяц, $x_а$ определяется как разность запасов воды в снеге на конец и начало данного месяца ($x_а = x_к - x_н$).

В том случае, если на водосборе имеется водохранилище, нарушающее естественный режим реки, в уравнение водного баланса следует вводить характеристику величины аккумуляции водохранилищем или сработки воды за расчетный период.

В зависимости от задачи, для которой используется уравнение водного баланса, его компоненты могут быть дифференцированы. Так, может оказаться необходимым для различных сезонов года разделение осадков на дождевые и снеговые, расчленение стока на поверхностный и подземный. В других случаях некоторые члены уравнения объединяются или приравниваются нулю. Например, поскольку практически трудно определить величину конденсации, эта составляющая водного баланса условно учитывается вместе с осадками или испарением. Величины аккумуляции влаги, а для достаточно больших бассейнов рек и подземного водообмена в многолетнем периоде почти уравновешиваются.

Рассмотрим способы определения элементов водного баланса.

Атмосферные осадки — способ их определения изложен в § 2.4.

Сток реки в замыкающем створе. В расчетах водного баланса используются месячные значения стока. Пересчет средних месячных расходов воды в слой стока (в *мм*) производится по формуле

$$y = \frac{Q_{ср} T}{F \cdot 10^3}, \qquad (2.43)$$

где y — слой стока в *мм*; $Q_{ср}$ — средний месячный расход воды в $м^3/сек$; T — число секунд в периоде, для которого производится пересчет; F — площадь водосбора в $км^2$

Величины суммарного стока расчленяются на поверхностную и подземную составляющие. Выделение подземной составляющей производится путем срезки гидрографа, при этом величина подземного стока может быть определена по простейшей схеме расчленения гидрографов, ориентируясь на устойчивые величины расходов воды в периоды зимней и летней межени. Поверхност-

ный сток вычисляется по разности между суммарным и подземным стоком. Пример записи полученных результатов приведен в табл. 2.41.

Испарение с поверхности водосбора. Для оценки испарения используются данные наблюдений за испарением с почвы по испарителям ГГИ-500-50 или ГГИ-500-100. Может быть применен также метод теплового баланса с использованием материалов наблюдений теплобалансовых станций.

За периоды, когда водосбор покрыт снегом, испарение с поверхности снега по месяцам без больших погрешностей может быть принято руководствуясь следующим: как показали исследования, средняя величина испарения со снега за зиму (без весны) для большей части территории СССР составляет около 15—20 *мм*, причем от начала зимы к весне месячные величины возрастают в три-четыре раза, т. е. если в зимние месяцы испарение в среднем равно 2—3 *мм*, то весной оно увеличивается до 8—10 *мм* в месяц.

В случае если наблюдения над испарением проводились в нескольких пунктах, испарение с водосбора определяется как среднее взвешенное значение. Если же для расчета испарения использованы данные одного пункта, то полученная величина испарения условно принимается для всего водосбора.

Пример определения испарения приведен в табл. 2.42.

Изменение запасов влаги в почво-грунтах. Эта составляющая водного баланса может быть как положительной, так и отрицательной. Если в течение какого-либо сезона произошло накопление запасов воды на водосборе, то величина разности $\Delta w = w_к - w_н$ имеет знак плюс и входит в расходную часть уравнения водного баланса; если же в течение какого-либо сезона произошло расходование ранее накопленных запасов воды на водосборе (например, в период летней или зимней межени), то величина $\Delta w = w_к - w_н$ входит в приходную часть уравнения водного баланса.

Для определения влагозапасов используются ежемесячные данные наблюдений над влажностью почвы на агрометстанциях, расположенных на водосборе. Количество точек наблюдений, в которых измеряется влажность почвы, должно быть не менее 20 (три—пять станций).

Средние взвешенные для водосбора значения запасов влаги в почво-грунтах определяются так же, как и запасы воды в снеге (табл. 2.43).

Изменение запасов подземных вод на водосборе определяется на основе материалов наблюдений за колебаниями уровня подземных вод на сети гидрогеологических скважин, расположенных в пределах рассматриваемого водосбора или в сходных физико-географических условиях соседних водосборов.

Сток за 1959-60 г.

Гидрометеорологическая станция г. Петровск УГМС ЦЧО. Река Тихая — с. Степное. Площадь водосбора 44 900 *км²*

Характеристика стока	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Суммарный:											
м³/сек		21,3	20,8	28,2	60,8	644	288	58,3	33,9	26,9	23,7
мм		1,3	1,2	1,6	3,6	37,1	17,2	3,4	2,2	1,6	1,4
Подземный, *мм*		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Поверхностный, *мм*		0,1	0,0	0,4	2,4	35,9	16,0	2,2	1,0	0,4	0,2
Суммарный (средний многолетний):											
м³/сек		26,8	23,5	37,0	85,4	816	364	67,6	41,9	30,2	31,2
мм		1,6	1,4	2,0	5,1	47,1	21,7	3,9	2,5	1,8	1,8

Характеристика стока	X	XI	XII	Зима (XII—II)	Весна (III—V)	Лето (VI—VIII)	Осень (IX—XI)	Гидрологический год (XII—XI)	Календарный год (I—XII)
Суммарный:									
м³/сек	28,6	34,9	55,1	23,4	330	39,7	29,0	106	108
мм	1,7	2,1	3,3	4	58	7	5	74	76
Подземный, *мм*	1,2	1,2	1,2	3,6	3,6	3,6	3,6	14	14
Поверхностный, *мм*	0,5	0,9	2,1	0,7	54,3	3,6	1,6	60	62
Суммарный (средний многолетний):									
м³/сек	41,9	50,3	26,8	27,8	420	46,7	41,01	134	134
мм	2,5	2,9	1,6	5	74	8	7	94	94

Таблица 2.42

Испарение с почвы и снега за 1959-60 г. (в *мм*)

Гидрометеорологическая станция г. Петровск УГМС ЦЧО

Река Тихая—с Степное. Площадь водосбора 44 900 *км*², испарители ГГИ-500-50

Пункт наблюдений	Испаряющая поверхность	Площадь, занятая соответствующим видом поверхности, %	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Каменная	Пар	10		3	3	3	11	26	45	58	41	69
Степь	Озимые	25		3	3	3	11	31	45	56	41	62
	Залежь	15		3	3	3	11	36	50	99	65	75
	Яровые	50		3	3	3	11	28	45	95	113	75
	Средние взвешен.	100		3	3	3	11	30	46	83	81	72
с. Ростоши	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—
Водосбор	Средние взвешен.	100		3	3	3	11	28	45	84	78	70
„	Средние многолетн	100		3	3	4	12	31	48	86	79	71

Пункт наблюдений	Испаряющая поверхность	Площадь, занятая соответствующим видом поверхности, %	IX	X	XI	XII	Зима (XII—II)	Весна (III—V)	Лето (VI—VIII)	Осень (IX—XI)	Гидрологический год (XII—XI)	Календарный год (I—XII)
Каменная	Пар	10	56	49	42	3	9	82	168	147	406	406
Степь	Озимые	25	54	48	42	3	9	87	159	144	399	399
	Залежь	15	63	46	22	3	9	97	239	131	476	476
	Яровые	50	45	42	29	3	9	84	283	116	492	492
	Средние взвешен.	100	51	45	32	3	9	87	236	128	460	460
с Ростоши	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Водосбор	Средние взвешен	100	53	46	33	3	9	84	232	132	457	457
„	Средние многолети	100	54	46	33	3	10	91	236	133	470	470

Таблица 2.43

Запасы влаги в верхнем слое почво-грунтов в 1959-60 г. (в *мм*)
Гидрометеорологическая станция г. Петровск УГМС ЦЧО

Река Тихая — с. Степное. Площадь водосбора 44 900 *км*²
Почво-грунты — суглинок

Пункт наблюдений	Элементы ландшафта и виды угодий		Запасы влаги на конец каждого месяца									
	характеристика	площадь, занятая соответствующим видом поверхности в районе пункта наблюдений, %	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Каменная Степь	Поле (косимая залежь)	92	420	427	395	432	491	450	421	370	358	341
	Поле (пар)	8	387	399	390	406	502	480	415	386	363	342
	Средние взвешенные	100	418	424	395	429	492	453	421	371	358	341
Водосбор	Средние взвешенные	100	414	417	398	424	507	475	429	388	364	345
	Средние многолетние	100	412	414	395	419	506	469	425	379	354	322

Пункт наблюдений	Элементы ландшафта и виды угодий		Запасы влаги на конец каждого месяца				Изменение запасов за сезон				Изменение запасов за год	
	характеристика	площадь, занятая соответствующим видом поверхности в районе пункта наблюдений, %	IX	X	XI	XII	зима (XII—II)	весна (III—V)	лето (VI—VIII)	осень (IX—XI)	гидрологический (XII—XI)	календарный (I—XII)
Каменная Степь	Поле (косимая залежь)	92	370	427	450	456	12	—11	—80	109	30	29
	Поле (пар)	8	352	421	445	451	19	9	73	103	58	52
	Средние взвешенные	100	368	427	450	456	11	—8	—80	109	32	32
Водосбор	Средние взвешенные	100	366	431	453	457	10	5	—84	108	39	40
	Средние многолетние	100	357	422	412	414	7	6	-103	90	0	0

Средний уровень грунтовых вод на водосборе определяется как средний взвешенный или средний арифметический из данных наблюдательных скважин.

Для вычисления составляющей Δv уравнения водного баланса величину изменения среднего уровня за расчетный период необходимо умножить на коэффициент водоотдачи, который определяется по формуле

$$\mu_в = П - H, \tag{2.44}$$

где $\mu_в$ — коэффициент водоотдачи в долях единицы; П — полная влагоемкость; H — наименьшая полевая влагоемкость.

Коэффициент водоотдачи $\mu_в$ определяется (приближенно) по таблицам, имеющимся в гидрогеологических справочниках. При отсутствии данных о коэффициенте водоотдачи могут быть использованы их средние значения, приведенные ниже:

	$\mu_в$
Тонкозернистые пески и супеси	0,10—0,15
Мелкозернистые и глинистые пески	0,15—0,20
Среднезернистые пески	0,20—0,25
Крупнозернистые и гравелистые пески	0,25—0,35
Известняки трещиноватые	0,008—0,10

В некоторых случаях для оценки изменения динамических запасов подземных вод на водосборе может быть использована зависимость расходов подземного стока в замыкающем створе реки от среднего уровня грунтовых вод на водосборе. Для построения такой зависимости определяются расходы воды в реке в период устойчивой межени (подземный сток) и средние уровни грунтовых вод для этого времени. Пример расчета приведен в табл. 2.44.

Аккумуляция снега — способ определения запасов воды в снеге изложен в § 2.1.

Водозабор из реки и возврат вод в реку. Сведения о водозаборах и сбросах воды в реку могут быть получены в местных организациях-водопотребителях.

Пример для р. Тихой приведен в табл. 2.45 и 2.46.

Полученные значения всех членов уравнения водного баланса помещаются в сводную (расчетную) таблицу (табл. 2.47).

Расчет водного баланса водосборов заключается в сопоставлении его приходной и расходной частей за различные сезоны в данном году (см. табл. 2.47), а также средних многолетних значений составляющих водного баланса (см. табл. 2.48).

Средние многолетние значения элементов водного баланса для водосбора за отдельные сезоны и год вычисляются аналогично тому, как это делалось при определении соответствующих характеристик за данный конкретный год (см. табл. 2.47).

Таблица 2 44

Уровень воды в скважинах и изменение запасов подземных вод в 1959-60 г

Гидрометеорологическая станция г Петровск УГМС ЦЧО

Река Тихая — с Степное Площадь водосбора 44 900 *км*²

Пункт наблюдений	Характеристика подземных вод	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Каменная Степь	Уровень воды, *см*		2105	2095	2092	2094	2103	2104	2103	2105	2105	2108
	Изменение уровня воды, *см*			—10	—3	2	9	1	—1	2	0	3
	Изменение запаса подземных вод, *мм* (при коэфф водоотдачи 0,15)			—15	—4	3	14	2	—2	3	0	4
То же	Уровень воды, *см*		828	819	814	813	821	819	818	824	824	830
	Изменение уровня воды, *см*			—9	—5	—1	8	—2	—1	6	0	6
	Изменение запаса подземных вод, *мм* (при коэфф водоотдачи 0,15)			—14	—8	—2	12	—3	—2	9	0	9
Водосбор	Изменение запаса подземных вод (средн взвешен), *мм*			—12	—5	—3	14	- 2	—1	8	0	7
	Среднее многолетнее			—13	—6	—3	12	—2	—1	2	1	3

Пункт наблюдения	Характеристика подземных вод	IX	X	XI	XII	Зима (XII—II)	Весна (III—V)	Лето (VI—VIII)	Осень (IX—XI)	Гидрологический год (XII—XI)	Календарный год (I—XII)
Каменная Степь	Уровень воды, *см*	2113	2113	2114	2103						
	Изменение уровня воды, *см*	5	0	1	—11	—11	9	5	6	9	8
	Изменение запаса подземных вод, *мм* (при коэфф водоотдачи 0,15)	8	0	2	—16	—16	14	7	10	15	14
То же	Уровень воды, *см*	835	835	833	825						
	Изменение уровня воды, *см*	5	0	—2	—8	—15	5	12	3	5	6
	Изменение запаса подземных вод, *мм* (при коэфф водоотдачи 0,15)	8	0	—3	—12	—24	7	18	5	6	8
Водосбор	Изменение запаса подземных вод (средн взвешен), *мм*	10	—2	—1	—15	—20	11	15	7	13	10
	Среднее многолетнее	15	— 1	—7	—13	—22	9	6	7	0	0

Забор воды на хозяйствен

Гидрометеорологическая станция
Река Тихая — с. Степное. Пло

Потребитель	Размерность	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
Водоснабжение (городское и промышленное)	*м³/сек*		2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,3	2,3
	мм		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Орошение и обводнение	*м³/сек*							2,5	3,0
	мм							0,1	0,2
Все другие виды водозабора	*м³/сек*		1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	мм		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Всего	*м³/сек*		3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	6,2	6,7
	мм		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4
Всего (средний многолетний)	*м³/сек*		3,4	3,7	3,5	3,5	3,4	6,3	6,6
	мм		0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4

Сброс возвратных

Гидрометеорологическая станция г. Петровск УГМС ЦЧО.

Сброс вод различными потребителями	Размерность	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
Водоснабжение (городское и промышленное)	*м³/сек*		1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2,0	2,0
	мм		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Орошение и обводнение	*м³/сек*							1,2	1,3
	мм							0,1	0,1
Все другие виды возвратных вод	*м³/сек*		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	мм		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Всего	*м³/сек*		2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	4,0	4,1
	мм		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Всего (средний многолетний)	*м³/сек*		2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	4,0	4,1
	мм		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3

Таблица 2.45

ные нужды в 1959-60 г.

г. Петровск УГМС ЦЧО

щадь водосбора 44 900 *км*²

VII	VIII	IX	X	XI	XII	Зима (XII—II)	Весна (III—V)	Лето (VI—VIII)	Осень (IX—XI)	Гидрологический год (XII—XI)	Календарный год (I—XII)
2,3	2,3	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,3	2,1	2,2	2,2
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	1,2	1,2
3,0	2,2						0,8	2,7		0,9	0,9
0,2	0,1						0,1	0,5		0,6	0,6
1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	1,2	1,2
6,8	6,0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4,4	6,5	3,5	4,5	4,5
0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	1,1	0,6	3,0	3,0
6,8	5,8	3,5	3,4	3,5	3,5	3,5	4,4	6,4	3,5	4,5	4,5
0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	1,1	0,6	3,0	3,0

Таблица 2.46

вод в 1959-60 г.

Река Тихая — с. Степное. Площадь водосбора 44 900 *км*²

VII	VIII	IX	X	XI	XII	Зима (XII—II)	Весна (III—V)	Лето (VI—VIII)	Осень (IX—XI)	Гидрологический год (XII—XI)	Календарный год (I—XII)
2,0	2,0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	2,0	1,8	1,8	1,8
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	1,2	1,2
1,1	0,7						0,4	1,0		0,4	0,4
0,1	0,0						0,1	0,2		0,3	0,3
0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8
0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	0,2
4,0	3,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	3,0	3,9	2,6	2,6	2,6
0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,7	0,3	1,7	1,7
4,0	3,5	2,4	2,4	2,5	2,4	2,4	3,0	3,8	2,4	2,9	2,9
0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	0,8	0,3	1,8	1,8

Сводная таблица средних многолетних величин основных элементов

Гидрометеорологическая станция г. Петровск УГМС ЦЧО.

Элемент водного баланса	Обозначение	За гидрологический год				
		в *мм*				
		сезоны				год
		зима (XII—II)	весна (III—V)	лето (VI—VIII)	осень (IX—XI)	(XII—XI)
Осадки	x	150	130	90	210	580
Сток	y	5	74	8	7	94
Испарение	z	10	91	236	133	470
Аккумуляция на поверхности водосбора	x_a	67	—67			0
Изменение запасов влаги в верхнем слое почво-грунтов	Δw	7	6	—103	90	0
Изменение запасов подземных вод	Δu	—22	9	6	7	0
Забор воды из реки на хозяйственные нужды	γ	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0
Возврат вторичных вод в реку	η	0	0	—1,0	0	—2,0
Подземный водообмен и другие неучтенные элементы баланса	p	82	16	—57	—28	14

Сводная таблица величин основных элементов

Гидрометеорологическая станция г. Петровск УГМС ЦЧО.

Элемент водного баланса	Обозначение	Величина элементов водного баланса (*мм*)				
		зима (XII—II)	весна (III—V)	лето (VI—VIII)	осень (IX—XI)	гидрологический год (XII—XI)
Осадки	x	168	127	82	229	597
Сток	y	4	58	7	5	74
Испарение	z	9	84	232	132	457
Аккумуляция на поверхности водосбора	x_a	80	—80			0
Изменение запасов влаги в верхнем слое почво-грунтов	Δw	10	5	—84	108	39
Изменение запасов подземных вод	Δu	—20	11	15	7	13
Забор воды из реки на хозяйственные нужды	γ	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0
Возврат воды в реку	η	0	0	—1,0	0	—2,0
Подземный водообмен и другие неучтенные элементы баланса	p	84	48	—88	—33	12

Таблица 2 47

водного баланса и сравнение их с величинами за данный год

Река Тихая — с Степное Площадь водосбора 44 900 *км*²

(средние многолетние)					1960 г. (гидрологический), в % от средн. многолетней величины	За календарный год		
в % от годовой величины							1960 г.	
сезоны				год		средние многолетние (норма), *мм*	в *мм*	в % нормы
зима (XII—II)	весна (III—V)	лето (VI—VIII)	осень (IX—XI)	(XII—XI)				
25,9	22,4	15,5	36,2	100	103	580	593	102
5,3	78,8	8,5	7,4	100	79	94	76	81
2,1	19,4	50,2	28,3	100	97	470	457	97
				0	0	0	0	0
				0		0	40	
				0		0	10	
25	25	25	25	100	100	4,0	4,0	100
0	0	—50	0	100	100	—2,0	—2,0	100
586	114	—407	—200	100	86	14	8	57

Таблица 2 48

водного баланса за 1959-60 гидрологический год

Река Тихая — с Степное Площадь водосбора 44 900 *км*²

В % от суммарных осадков за сезон				В % от суммарных осадков за гидрологический год				
зима (XII—II)	весна (III—V)	лето (VI—VIII)	осень (IX—XI)	зима (XII—II)	весна (III—V)	лето (VI—VIII)	осень (IX—XI)	XII—XI
100	100	100	100	28,1	21,3	13,7	36,9	100
2,4	45,7	8,5	2,3	0,7	9,7	1,2	0,8	12,4
5,4	66,1	283	60,0	1,5	14,0	38,9	22,1	76,5
47,6	—63,0			13,4	—13,4			0
6,0	3,9	—102,8	49,1	1,7	0,8	—14,1	18,1	6,5
—12,0	8,7	18,3	3,2	—3,3	1,8	2,5	1,2	2,2
0,6	0,8	1,2	0,4	0	0	0	0	0,7
0	0	—1,2	0	0	0	0	0	—0,3
50,0	37,8	—107	—5,0	14,1	8,0	—14,7	—5,5	2,0

При отсутствии на исследуемом водосборе станций с достаточно длинными и надежными рядами наблюдений для вычисления отдельных элементов можно воспользоваться картами осадков, снежного покрова, испарения с суши и снега с введением соответствующих поправок.

Для речного бассейна достаточно большого размера с естественным ненарушенным водным режимом, для которого подземным водообменом с соседними водосборами можно пренебречь, уравнение (2.42) запишется в виде

$$x = y + z + \Delta v \tag{2.45}$$

(обозначения прежние).

Для многолетнего периода, включающего в себя и засушливые и влажные годы, уравнение (2.45) примет вид

$$x_0 = y_0 + z_0. \tag{2.46}$$

Исходя из уравнения (2.46), норма стока может быть определена по разности между средними многолетними значениями осадков и испарения. Норма стока может быть определена также по карте среднего годового стока рек СССР (приложение XXV). Величина средних многолетних осадков на водосборе определяется по данным метеорологических станций (см. § 2.4) или по карте изолиний (приложение XXIII); для определения нормы испарения может быть использовано приложение XXIV, а также перечисленные ниже графики и формулы.

Способы расчета испарения

График П. С. Кузина. Этот график (рис. 2.22) может быть рекомендован для подсчета среднего многолетнего испарения с поверхности речных бассейнов в районах достаточного увлажнения.

График выражает зависимость средних многолетних месячных величин испарения от средних месячных температур воздуха и представляет собой три кривые, каждая из которых соответствует определенному времени года со свойственной ему влажностью почвы и воздуха.

График получен для района Верхней Волги у Ярославля и основан на установлении зависимости между средним многолетним испарением за сутки $z_{сут}$ и средним суточным дефицитом влажности воздуха $d_{сут}$.

Соотношение этих элементов для исследуемого района оказалось равным

$$k = \frac{z_{сут}}{d_{сут}} = 0{,}46.$$

Численное значение полученного отношения k может быть определено и для других бассейнов, что дает возможность применять метод Кузина для более обширных районов.

График Б. В. Полякова. Общий график Полякова (рис. 2.23) включает ряд частных графиков.

По графику *1* определяется величина среднего испарения в январе и в последующие зимние месяцы в зависимости от средней месячной температуры и географического положения бассейна реки.

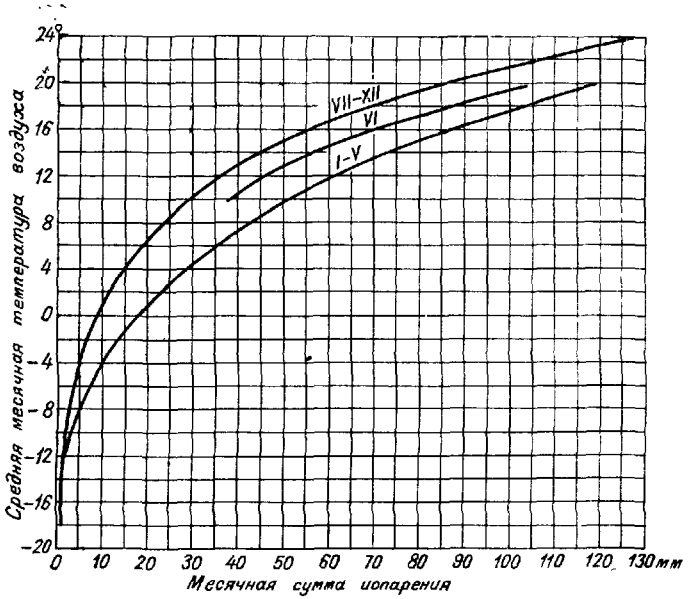


Рис. 2.22. График П. С. Кузина для расчета испарения с поверхности речных бассейнов в районах достаточного увлажнения для среднего года.

График *2* служит для расчета испарения в первый месяц с положительной средней месячной температурой (обычно наблюдающейся в апреле).

По графикам *3* и *4* определяется испарение соответственно во второй и третий месяцы с положительной температурой. По графику *5* рассчитывается испарение в четвертый и последующие месяцы вплоть до месяца с отрицательной средней месячной температурой.

По графику *6* производится расчет испарения в осенние месяцы с отрицательной средней месячной температурой и зимние месяцы до декабря включительно.

График М. И. Будыко. График представлен на рис. 2.24. Формула для вычисления средней многолетней величины

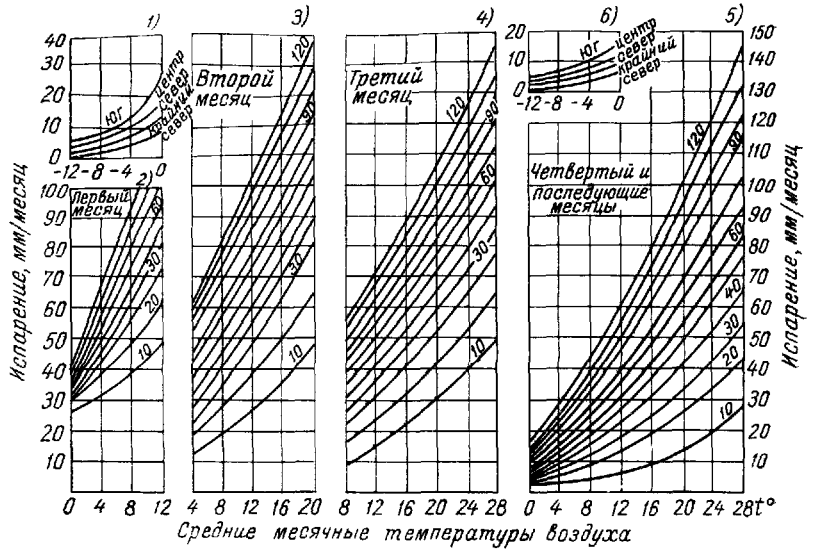


Рис. 2.23. График Б. В. Полякова для расчета нормы испарения с речных бассейнов.

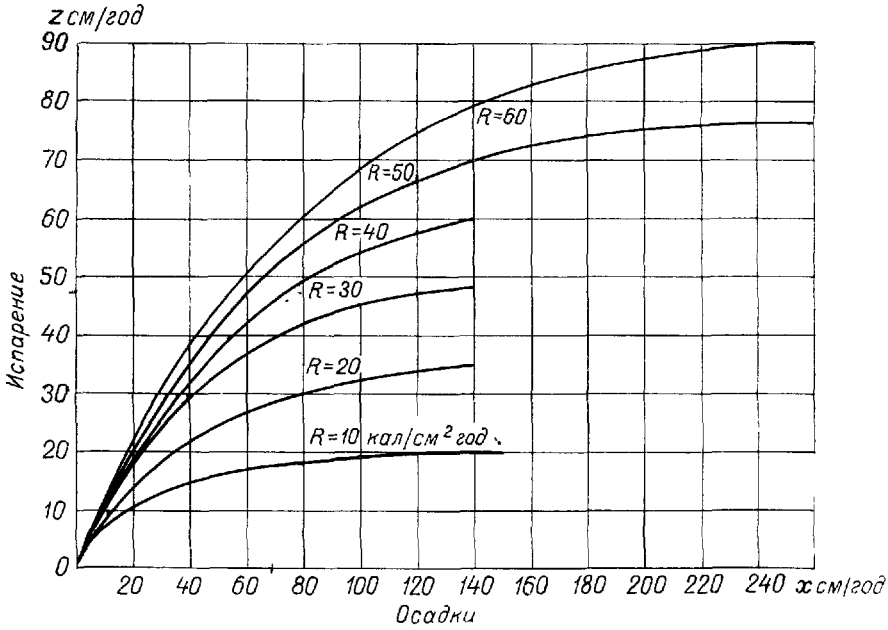


Рис. 2.24. Зависимость средней многолетней величины испарения от осадков и радиационного прихода тепла.

испарения z, соответствующая этому графику, имеет вид

$$z = \sqrt{\frac{Rx}{L} \operatorname{th} \frac{Lx}{R} \left(1 - \operatorname{ch} \frac{R}{Lx} + \operatorname{sh} \frac{R}{Lx}\right)}, \qquad (2.47)$$

где th, ch и sh — гиперболические функции тангенса, косинуса и синуса; R — поток радиационного тепла в *ккал*; L — скрытая теплота испарения, равная 0,6 *ккал*; x — средняя годовая сумма осадков.

График А. Р. Константинова. График (рис. 2.25) основан на анализе механизма турбулентного обмена и градиентных измерениях температуры, влажности воздуха и скорости ветра и служит

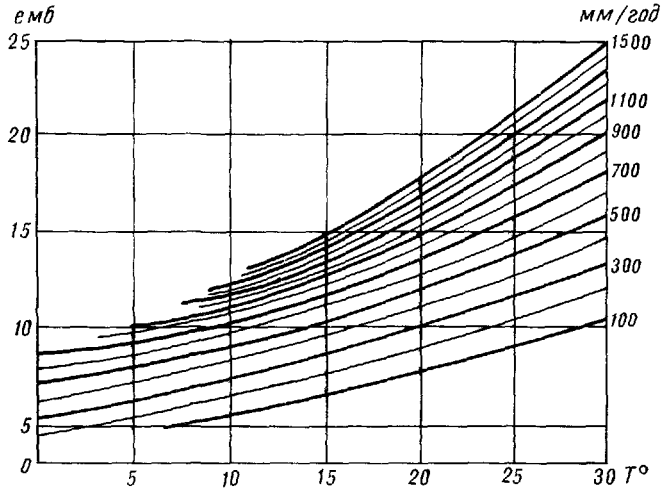


Рис. 2 25. График для расчета годового испарения с поверхности суши по средним годовым значениям температуры и влажности воздуха.

для определения годовых величин испарения по средним годовым значениям температуры и влажности воздуха, измеренным на метеорологических станциях.

Вычисление водного баланса озер

Для бессточного озера уравнение водного баланса можно написать в виде

$$z = x + y + u + w, \qquad (2.48)$$

где z — испарение с поверхности озера за вычетом конденсации; x — осадки на поверхность озера; y — поверхностный приток в озеро; u — изменение запаса воды в озере; w — подземный водообмен озера с окружающей толщей почво-грунтов.

Для многолетнего периода уравнение (2.48) примет вид

$$z_0 = x_0 + y_0 + w. \qquad (2.49)$$

В том случае, когда водообмен по поверхности ложа относительно невелик или приток вод уравновешивается расходом на фильтрацию и им можно пренебречь, уравнение (2.49) можно записать так:

$$z_0 = x_0 + y_0. \qquad (2.50)$$

Уравнение баланса для проточного озера в среднем за период времени T может быть выражено уравнением

$$x + y_1 + w_1 = z + y_2 + w_2 + \Delta u, \qquad (2.51)$$

где x — осадки на поверхность озера; y_1 — поверхностный приток; w_1 — подземный приток; z — испарение за вычетом конденсации; y_2 — сток из озера; w_2 — фильтрация воды из озера; Δu — изменение запаса воды в озере (положительное или отрицательное приращение уровня озера).

Пример 2.11. Установить методом водного баланса среднюю за период 1927—1934 гг. величину испарения с поверхности озера Севан ($F = 1400$ км^2). Исходные данные за отдельные годы приведены в табл. 2.49.

Таблица 2.49

Элементы водного баланса озера Севан за отдельные годы (*см*)
$F = 1400$ км^2

Год	Осадки x	Приток воды в озеро $y_1 + w_1$	Сток из озера		Изменение уровня Δu
			поверхностный y_2	подземный w_2	
1927	40	45	2	5	—5
1928	41	53	3	5	9
1929	41	61	4	6	12
1930	43	44	4	6	—12
1931	46	65	1	6	13
1932	34	75	2	7	15
1933	35	57	10	7	—12
1934	30	49	11	6	—18
Средние	38,8	56,1	4,6	6,0	2

Для решения задачи используем формулу (2.51), из которой

$$z = (x + y_1 + w_1) - (y_2 + w_2 + \Delta u).$$

На основании данных табл. 2.49 получаем следующие средние за период величины элементов водного баланса:

$x = 388$ *мм*, $y_1 + w_1 = 561$ *мм*, $y_2 = 46$ *мм*, $w_2 = 60$ *мм*, $\Delta u = 2$ *мм*.

Подставив полученные данные в уравнение, определяем величину испарения с поверхности озера

$$z = (388 + 561) - (46 + 60 + 2) = 841 \text{ мм}.$$

Пример 2.12. Пользуясь данными табл. 2.50, установить ежегодные величины сработки или накопления запасов воды в Каспийском море и составить средний годовой за шестилетие 1925—1930 гг. водный баланс.

Таблица 2.50

Элементы водного баланса Каспийского моря за отдельные годы (*мм*)
$F = 403\,000$ км²

Год	Осадки x	Поверхностный приток y_1	Подземный приток w_1	Испарение z	Сток из моря в залив y_2
1925	173	770	14	995	32
1926	189	1152	14	1035	40
1927	187	968	14	1025	44
1928	196	1055	14	925	60
1929	141	941	14	1043	63
1930	155	691	14	979	51
Средние	173	929	14	1000	48

Ежегодные изменения запасов определяем по формуле (2.51)

$$\Delta u = (x + y_1 + w_1) - (z + y_2).$$

Вычисленные по этой формуле величины запасов воды за отдельные годы оказались следующими:

Годы	1925	1926	1927	1928	1929	1930	Среднее
Δu	−70	+280	+100	+280	−10	−170	+68

Из полученных данных следует, что за период 1925—1930 гг. произошло накопление запасов воды в море, которое составило в среднем 68 *мм*.

По данным табл. 2.50 определяем средние величины элементов баланса и по формуле (2.51) составляем средний годовой за шестилетие баланс Каспийского моря, который получает следующее выражение (в *мм*):

$$x + y_1 + w = z + y_2 + \Delta u,$$
$$173 + 929 + 14 = 1000 + 48 + 68.$$

§ 27 РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА СТОКА ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ

Дождевые паводки являются одной из наиболее важных фаз гидрологического режима, которая для многих районов СССР (Дальний Восток, Восточная Сибирь, Северо-Запад ЕТС и Прибалтика, некоторые области Кавказа, Украины, Молдавии и т. п.) является основной. Поэтому при анализе формирования дождевых паводков в различных физико-географических районах важно знать их количественную характеристику, на основании которой можно получить численные значения паводочного стока. Количественная оценка дождевого стока определяется путем

расчленения общего стока реки (гидрографа) на поверхностный и базисный.[1]

Необходимость выделения из общего стока реки объема поверхностного (паводочного) стока возникает при вычислении одной из важнейших характеристик паводочного стока — коэффициента стока.

При расчленении стока на базисный и поверхностный используются данные о ежедневных осадках, а для горных рек — и данные о средних суточных температурах воздуха.

При выделении дождевых паводков со срезкой базисного стока на равнинных реках могут встретиться три случая.

1. Базисный расход Q_0 совпадает с предпаводочным расходом $Q_н$.

Срезка базисного стока производится по горизонтальной линии, начиная с устойчивого предпаводочного расхода воды (рис. 2.26 *а*). За дату начала паводка $T_н$ принимается дата, предшествующая заметному подъему (вверх) кривой на гидрографе. Для намеченной даты определяется предпаводочный расход $Q_н$. За конец паводка принимается дата $T_к$, соответствующая расходу воды на спаде паводка $Q_к$, равному предпаводочному расходу $Q_н$.

Из точек пересечения горизонтальной линии $Q_н$ и $Q_к$ опускаются перпендикуляры $Q_нT_н$ и $Q_кT_к$ до пересечения их с осью абсцисс. Площадь полученного прямоугольника $Q_н(Q_0)T_нT_кQ_н(Q_0)$ и есть объем базисного стока за период выделяемого паводка, а заштрихованная часть гидрографа представляет собой объем поверхностного паводочного стока.

2. Предпаводочный расход $Q_н$ не совпадает с базисным расходом Q_0 (на базисный предпаводочный сток накладывается сток предыдущего паводка, рис. 2.26 *б*).

Разделение общего стока на базисный и поверхностный производится следующим образом.

Расход устойчивого базисного стока Q_0 устанавливается по предпаводочному расходу паводка, который предшествовал выделяемому паводку и который наблюдался при отсутствии поверхностного стока. От этого расхода проводится параллельно оси абсцисс горизонтальная линия базисного стока.

Для даты начала выделяемого паводка $T_н$ (дата, предшествующая заметному увеличению стока в русле) устанавливается величина предпаводочного расхода $Q_н$ и проводится горизонталь $Q_нQ_к$ до пересечения ее с кривой спада гидрографа. Затем из точек $Q_н$ и $Q_к$ опускаются перпендикуляры $Q_нT_н$ и $Q_кT_к$ до пересечения их с осью абсцисс. Точки пересечения этих перпендикуля-

[1] Под базисным стоком понимается устойчивый сток реки при отсутствии паводков, обусловленных главным образом грунтовым питанием, а также таянием снега и льда в горах или наледей на водосборах и в руслах рек

ров с линией базисного стока Q_0 и осью абсцисс образуют прямоугольник $Q_0T_нT_кQ_0$, площадь которого представляет собой объем базисного стока, а заштрихованная часть гидрографа — объем поверхностного паводочного стока.

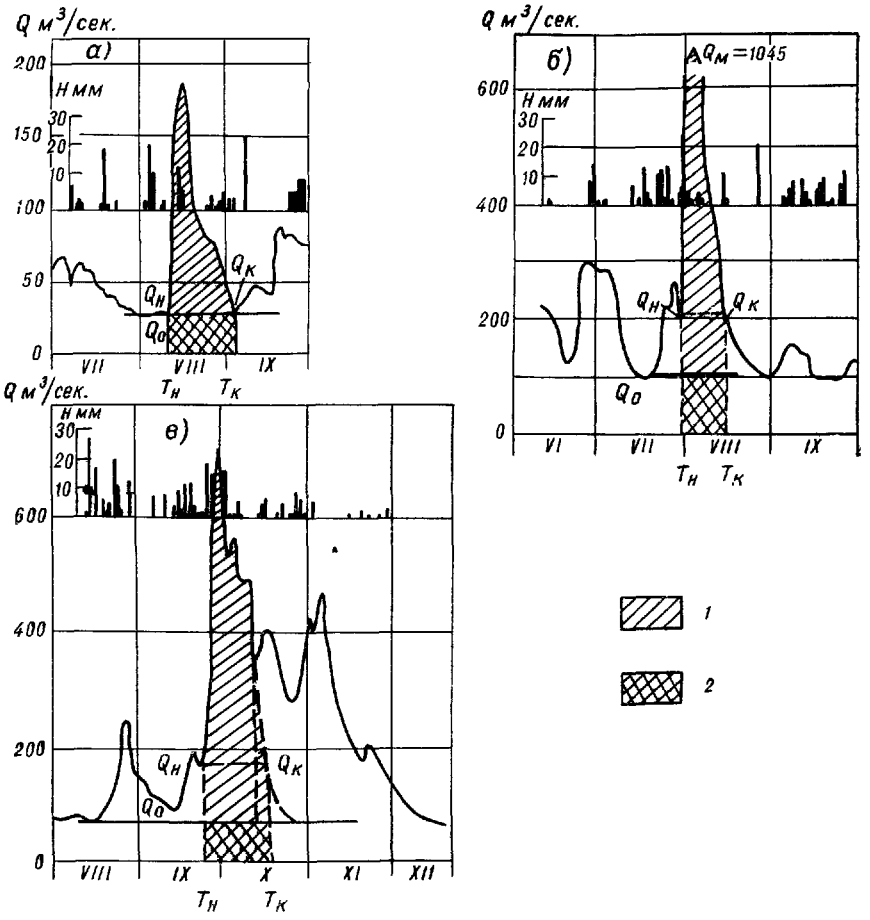


Рис. 2 26. Расчленение стока дождевых паводков на поверхностный и базисный р. Мсты — д. Девкино.

1 — поверхностный сток, *2* — базисный сток.

3. Предпаводочный расход $Q_н$ больше базисного расхода Q_0, и все расходы воды на спаде больше предпаводочного расхода $Q_н$ (рис. 2.26 *в*).

Способ выделения объема паводка со срезкой базисного стока аналогичен второму случаю, но вместо естественной кривой спада

на гидрограф наносится (пунктиром) типовая кривая спада. В качестве типовой принимается кривая спада ближайшего паводка, у которого уменьшение расходов наблюдалось при отсутствии осадков на спаде паводка.

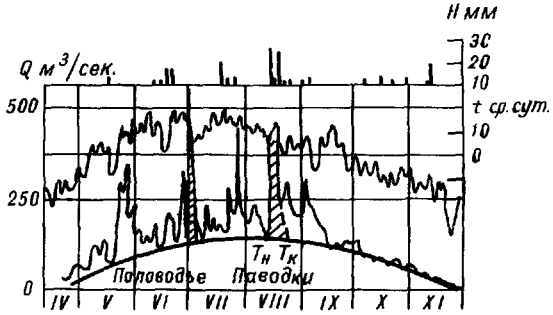


Рис. 2.27. Расчленение стока дождевого паводка на поверхностный и базисный р. Китой — д. Ясочное.

Особый характер имеет выделение паводков со срезкой базисного стока на горных реках. На рис. 2.27 приведен пример выделения базисного стока, вызванного таянием снега в горах. В данном случае строится типовая кривая базисного стока, которая устанавливается по данным наблюдений за стоком воды в периоды с невысокими паводками или при их отсутствии. При этом, как указывалось выше, следует учитывать также ход температуры воздуха.

Глава 3

НОРМА ГОДОВОГО СТОКА

Для оценки условий работы гидротехнических сооружений исключительно большое значение имеют наблюдения над режимом стока и его элементами. Они служат основой для определения расчетных характеристик и будущего режима рек, на основании которых устанавливаются типы и размеры водохранилищ, плотин, мостов и других сооружений.

Характеристики стока определяются сперва для естественного состояния рек, затем в них вносятся те или иные поправки, которые должны учесть изменения стока под влиянием хозяйственной деятельности человека в речном бассейне (гидротехнические и агролесомелиоративные мероприятия). Для рек со значительной искусственной зарегулированностью годового стока водохранилищами восстанавливаются величины естественного стока.

Основной характеристикой водных ресурсов рек, которая используется в гидрологических расчетах при проектировании водохранилищ для гидроэнергетики, орошения, водоснабжения и других видов водохозяйственного строительства, является средняя многолетняя величина, или норма годового стока.

Нормой годового стока называется его средняя величина за многолетний период с неизменными ландшафтными географическими условиями, относящимися к современной геологической эпохе, и с одинаковым уровнем хозяйственного освоения реки. Многолетний ряд наблюдений, по которому определяется норма стока, должен включать несколько (не менее двух) полных циклов колебаний водности реки.

Важность значения нормы годового стока заключается в том, что она является основной и устойчивой характеристикой водных ресурсов данного речного бассейна или района.

Устойчивость нормы годового стока определяется двумя условиями:

1) как средняя многолетняя величина она мало или почти не изменится, если к многолетнему ряду будет прибавлено еще несколько лет наблюдений;

2) является функцией главным образом климатических факторов — осадков и испарения и притом их средних многолетних величин, которые в свою очередь являются устойчивыми климатическими характеристиками района или бассейна.

Норма годового стока может выражаться в виде: среднего годового расхода воды Q_0 в $м^3/сек$; среднего годового объема стока W_0 в $м^3$; среднего годового модуля стока M_0 в $л/сек$ с 1 $км^2$; среднего годового слоя h_0 в $мм$, отнесенного к площади водосбора.

Выраженная в виде среднего годового модуля стока M_0 $л/сек$ с 1 $км^2$ или среднего годового слоя h_0 $мм$ норма годового стока, как и ее климатические составляющие — средние годовые осадки и испарение, — достаточно плавно изменяется по территории и поддается картированию. Это хорошо иллюстрируется картой изолиний (приложение XXV), из которой видно, что общее распределение нормы годового стока по территории СССР имеет характер широтной зональности в равнинных районах и вертикальной зональности в горных районах. Повышенная норма стока отмечается на возвышенностях равнинных территорий. В районах отрицательных форм рельефа наблюдается уменьшение нормы стока. Несколько нарушается широтная зональность нормы годового стока и под влиянием Балтийского моря, Ладожского и Онежского озер.

В зависимости от наличия информации о режиме стока реки норма годового стока вычисляется:

а) по данным непосредственных наблюдений над стоком реки за достаточно длительный период, позволяющий определить величину нормы годового стока с заданной точностью;

б) путем приведения средней величины стока, полученной за короткий период наблюдений, к многолетней норме по длинному ряду реки-аналога;

в) при полном отсутствии наблюдений — на основании характеристик среднего годового стока, полученных в результате обобщения наблюдений на других реках данного района.

Согласно официальным указаниям по определению расчетных величин годового стока рек и его внутригодового распределения (СН 371-67), продолжительность периода наблюдений для определения расчетной нормы годового стока считается достаточной, если относительная средняя квадратическая ошибка величины среднего годового стока за этот период наблюдений не превышает 5%. При бóльших значениях относительной средней квадратической ошибки величину среднего годового стока следует привести к многолетнему периоду. Если невозможно привести сток к многолетнему периоду (например, при отсутствии рек-аналогов), вместо нормы годового стока дается средняя его величина за имеющийся период наблюдений и указывается ее относительная средняя квадратическая ошибка.

Рассмотрим порядок расчета во всех этих случаях.

§ 3.1. РАСЧЕТ НОРМЫ ГОДОВОГО СТОКА ПРИ НАЛИЧИИ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Норма годового стока, как всякая средняя арифметическая величина статистического ряда, может быть определена по формуле

$$Q_{0N} = \frac{Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_{N-1} + Q_N}{N} = \frac{\sum_1^N Q_c}{N} \quad м^3/сек, \qquad (3.1)$$

где Q_{0N} — норма годового стока; Q_1, Q_2, ..., Q_{N-1}, Q_N — годовые величины стока за длительный период (N лет), при котором дальнейшее увеличение ряда наблюдений не меняет или мало меняет среднюю арифметическую величину Q_{0N}.

Вследствие недостаточной длины фактических рядов наблюдений над годовым стоком, которые, как правило, не превышают 60—80 лет и составляют в основном 20—40 лет, норма годового стока, полученная по формуле (3.1), отличается от истинного среднего значения Q_{0N} при $N \to \infty$ на некоторую величину σ_{Q_n}, т. е.

$$Q_{0N} = Q_{0n} \pm \sigma_{Q_n}, \qquad (3.2)$$

где Q_{0n} — средняя величина годового стока за ограниченный ряд наблюдений n лет; σ_{Q_n} — средняя квадратическая ошибка n-летней средней.

Согласно теории ошибок, величина σ_{Q_n}, на которую отличается среднее значение годового стока за n лет от истинной величины нормы Q_{0N} за N лет, при $N \to \infty$ равна

$$\sigma_{Q_n} = \pm \frac{\sigma_Q}{\sqrt{n}}, \qquad (3.3)$$

где σ_Q — среднее квадратическое отклонение (ошибка) единичных значений годового стока Q_i от среднего за n лет или среднее из суммы квадратов отклонений членов ряда годовых величин стока Q_i от их среднего значения Q_{0n}.

Определяется σ_Q по следующей формуле:

$$\sigma_Q = \pm \sqrt{\frac{\sum (Q_i - Q_{0n})^2}{n-1}}. \qquad (3.4)$$

Для сравнения точности определения нормы стока рек с различной водностью пользуются относительным значением средней квадратической ошибки. Так, выражая σ_{Q_n} в процентах от Q_{0n},

получим относительную среднюю квадратическую ошибку нормы стока, вычисленной по ограниченному ряду n лет,

$$\sigma_n\,\%=\frac{\sigma_{Q_n}}{Q_{0\,n}}\cdot 100=\pm\frac{\sigma_Q}{Q_{0\,n}\sqrt{n-1}}\cdot 100=\pm\frac{100C_v}{\sqrt{n}}\,\%, \qquad (3.5)$$

где $C_v=\dfrac{\sigma_Q}{Q_{0\,n}}$ — коэффициент вариации ряда годовых величин стока за n лет наблюдений, принятых для определения нормы стока.

Коэффициент вариации C_v характеризует колебания годовых величин стока относительно их средней величины и определяется непосредственно по имеющемуся ряду наблюдений.

Из формулы (3.5) легко установить необходимое число лет наблюдений n для получения нормы годового стока с заданной точностью

$$n=\frac{C_v^2\cdot 10^4}{\sigma_{Q_n}^2}. \qquad (3.6)$$

Соотношения, выраженные зависимостями (3.5) и (3.6), представлены в форме табл. 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1

Величины средней квадратической ошибки σ_n % в зависимости от числа членов ряда n и коэффициента вариации C_v по формуле (3.5)

C_v	n							
	2	5	10	20	40	60	80	100
0,10	7,1	4,5	3,2	2,2	1,6	1,3	1,1	1,0
0,15	10,6	6,7	4,7	3,4	2,4	1,9	1,7	1,5
0,20	14,2	8,9	6,4	4,5	3,2	2,6	2,2	2,0
0,25	17,8	11,1	7,8	5,6	4,0	3,2	2,8	2,5
0,30	21,2	13,4	9,5	6,7	4,8	3,9	3,4	3,0
0,40	28,3	17,8	12,6	8,9	6,3	5,3	4,5	4,0
0,50	35,4	22,2	15,8	11,2	7,9	6,4	5,6	5,0
0,60	42,5	25,8	19,0	13,4	9,5	7,8	6,7	6,0
0,70	49,6	31,2	22,1	15,7	11,1	9,0	7,8	7,0
0,80	56,7	35,6	25,3	17,9	12,7	10,3	8,9	8,0
0,90	63,9	40,1	28,5	20,1	14,4	11,6	10,1	9,0
1,00	71,0	44,5	31,6	22,4	15,8	12,9	11,2	10,0
1,20	85,2	53,5	38,0	26,8	19,0	15,5	13,4	12,0
1,40	99,4	62,3	44,3	31,4	22,1	18,1	15,7	14,0

Как показывает табл. 3.2, чем больше коэффициент вариации, тем длиннее должен быть ряд наблюдений для определения нормы стока заданной точности.

Таблица 3.2

Необходимое число членов ряда n для вычисления нормы с заданной точностью σ_n % по формуле (3.6)

C_v	σ_n %					
	±5,0	±6,0	±7,0	±8,0	±9,0	±10,0
0,10	4	3	2	2	1	1
0,15	9	6	5	4	3	2
0,20	16	11	8	6	5	4
0,25	25	17	13	10	8	6
0,30	36	25	19	14	11	9
0,40	64	44	33	25	20	16
0,50	100	69	50	39	31	25
0,60	144	99	74	56	45	36
0,70	196	136	100	77	61	49
0,80	256	178	131	100	79	64
0,90	324	225	165	127	100	81
1,00	400	278	204	156	123	100

Например, для вычисления нормы годового стока с точностью ±5% при $C_v=0{,}15\div0{,}25$ достаточно иметь ряд наблюдений 10—25 лет, а при $C_v=0{,}50\div0{,}60$ ряды наблюдений должны быть 100—150 лет. При обычных рядах наблюдений над годовым стоком, не превышающих 60 лет, и больших значениях C_v (более 0,7) требуемая точность нормы годового стока ±5% недостижима. Так, при $C_v=0{,}8\div1{,}0$ и $n=60$ лет средняя квадратическая ошибка составляет ±(10—13) %.

Поэтому можно сказать, что в районах с большими колебаниями годового стока (*засушливые районы Казахстана, Заволжья, Юга ЕТС*) понятие о норме годового стока является в некоторой мере условным, а ее величина неустойчивой. В целом же для большей части территории Советского Союза под нормой годового стока понимается среднее его значение при такой длительности наблюденного или удлиненного ряда, при которой оно является достаточно устойчивым для практических расчетов, т. е. с ошибкой не более ±(5—10) %.

Следует, однако, иметь в виду, что ошибка при подсчете по формуле (3.5) характеризует лишь точность метода, а не фактическую ошибку в каждом конкретном случае расчета, и пользование этой формулой для оценки точности устанавливаемой нормы — чисто формальный прием. В. Г. Андреянов отмечает, что существующее в расчетной практике стремление к увеличению длительности ряда за счет дополнительных лет для повышения точности определения нормы без учета циклических колебаний принципиально неверно. Простое удлинение ряда во многих случаях может даже снизить точность определения нормы.

Кроме того, вычисляемая по формуле (3.5) величина ошибки σ_n является средним значением или ошибкой арифметической середины. Максимальные ошибки могут в два-три раза превысить среднюю. Но вероятность таких больших ошибок очень мала. Например, вероятность того, что наибольшая ошибка не превысит $\pm 2\sigma_n$, равна 95%, а вероятность непревышения $\pm 2{,}55\sigma_n$ составляет 99%. Таким образом, при заданной точности вычисления нормы годового стока 5%-ная максимальная ошибка может достигнуть 12—15%. Однако такая ошибка может встретиться в одном случае из ста. Наибольшей ошибка будет тогда, когда расчетный ряд состоит из одной многоводной или одной маловодной фазы.

Следовательно, фактическая величина ошибки нормы годового стока существенно зависит не только от длины, но и от положения колеблющегося ряда наблюдений относительно циклов изменения водности в течение длительного периода. Чтобы гарантировать требуемую точность определения нормы годового стока, помимо оценки средней квадратической ошибки по формуле (3.5), необходимо исследовать цикличность колебания годового стока, и в многолетнем ряду последовательных лет наблюдений выбрать репрезентативный расчетный период. Выбор расчетного периода рассматривается в § 3.2.

Лишь в том случае, когда продолжительность наблюдений более 50—60 лет, норма годового стока вычисляется с учетом всего ряда.

Пример 3.1. Определить норму годового стока р. Камы у г. Перми ($F=168\,000$ *км*^{2}) по данным многолетних наблюдений с 1881 по 1958 г., включая три восстановленных года (1936, 1937 и 1954).

Ряд наблюдений составляет 78 лет, он достаточен для определения многолетней нормы как средней величины за весь период наблюдений. Кроме того, анализируя весь период наблюдений на р. Каме у г. Перми (1881—1958 гг.) по интегральной кривой отклонений годового стока от многолетнего среднего значения (см. рис. 3.3), мы убеждаемся, что он включает четыре полных цикла колебаний годового стока: три с $k_{ср}=1{,}0$ и один с $k_{ср}=0{,}97$. Такой продолжительный период может быть принят в качестве расчетного, а пункт наблюдений может являться опорным.

Для определения нормы годового стока р. Камы у г. Перми воспользуемся таблицей годовых модулей стока за весь период наблюдений (см. табл. 3.3 графа 3).

Среднее значение модуля, или норма, равно

$$M_{0\,N}=\frac{\sum_1^N M_i}{N}=\frac{760{,}74}{78}=9{,}76\ л/сек\ с\ 1\ км^2.$$

Средняя квадратическая ошибка установленной величины по формуле (3.5) составляет

$$\sigma_N=\frac{C_v}{\sqrt{N}}\cdot 100=\frac{0{,}19}{\sqrt{78}}\cdot 100=2{,}2\%$$

(C_v — вычислено по ряду наблюдений).

Как видно, ошибка σ_N очень мала и $M_0=9{,}76$ *л/сек* с 1 *км*² может быть принят в качестве многолетней нормы стока р. Камы у г. Перми.

Выразим норму годового стока р. Камы у г. Перми в других единицах измерения.

Средний многолетний расход

$$Q_0 = \frac{\sum_1^{78} Q_i}{78} = 1640 \ м^3/сек,$$

или

$$Q_0 = \frac{M_0 F}{1000} = \frac{9{,}76 \cdot 168\,000}{1000} = 1640 \ м^3/сек.$$

Средний многолетний объем годового стока

$$W_0 = 1640 \cdot 31{,}5 \cdot 10^6 = 51{,}66 \ км^3.$$

Средний многолетний слой стока с речного бассейна

$$y_0 = M_0 \cdot 31{,}5 = 9{,}76 \cdot 31{,}5 = 307 \ мм.$$

§ 3.2. ВЫБОР РАСЧЕТНОГО ПЕРИОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМЫ СТОКА

Расчетный период устанавливается во всех случаях, когда продолжительность наблюдений не превышает 50—60 лет. Он включает наибольшее число законченных циклов, состоящих из групп многоводных и маловодных лет. Принимаются во внима-

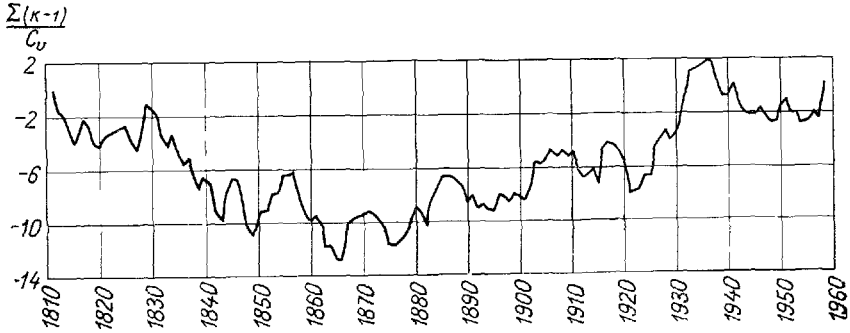


Рис. 3.1. Суммарная кривая отклонений от середины модульных коэффициентов годового стока р. Немана у г. Смалининкай ($C_v=0{,}17$) по К. П. Воскресенскому.

ние лишь основные продолжительные циклы, распространяющиеся на большие территории и охватывающие все реки данного района. Циклы небольшой продолжительности (2—4 года), накладывающиеся на основные циклы, не учитываются. Исключаются неполные циклы, имеющие только многоводную или маловодную фазу.

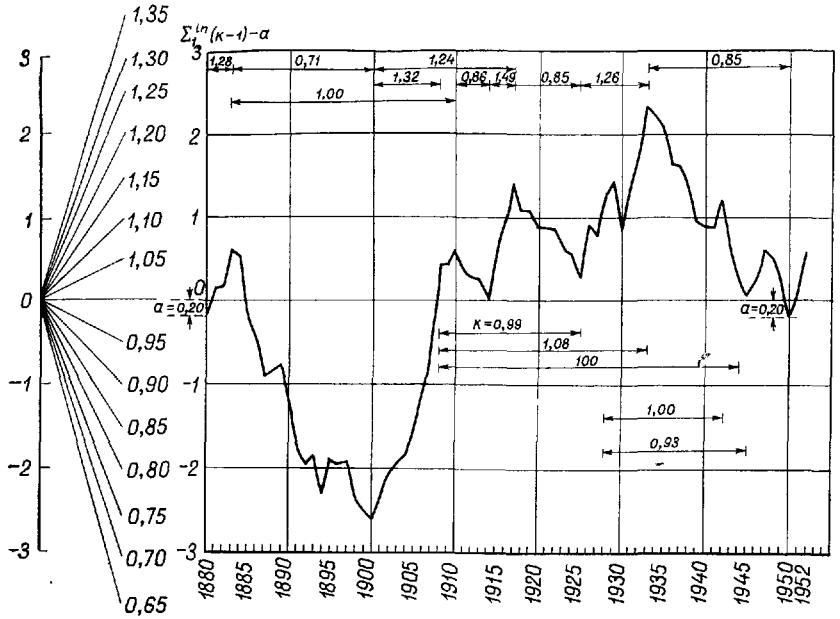


Рис. 3.2. Суммарная кривая отклонений от середины модульных коэффициентов годового стока р. Оки у г. Орла по В. Г. Андреянову.

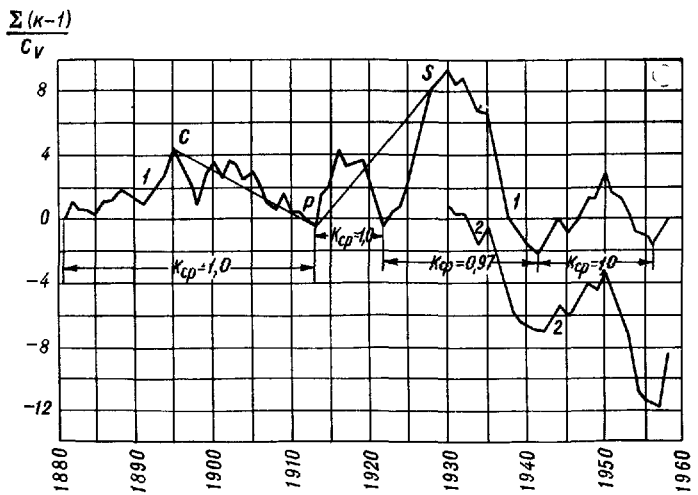


Рис. 3.3. Совмещенные суммарные кривые отклонений от середины модульных коэффициентов годового стока.

1 — р Кама — г. Пермь (C_v=0,19), *2* — р. Кама — с. Волосницкое (C_v=0,22).

Исследовать цикличность колебаний годового стока той или иной реки и устанавливать соответствие колебаний стока различных рек какого-либо района можно по совмещенным хронологическим графикам. Однако эти календарные графики изменения годовых величин стока не всегда дают достаточно полное представление о циклических колебаниях стока вследствие наличия малых циклов на общем фоне многолетних колебаний водности рек. Чтобы избежать указанных недостатков, часто используются графики скользящих средних величин годового стока за какой-то промежуток времени (графики по скользящим n-леткам). Такие графики устраняют влияние резких колебаний в отдельные годы, но благодаря сглаживанию одновременно делают более неопределенными границы разных циклов колебания водности.

Более наглядное представление о циклах колебания годового стока дают так называемые разностные интегральные кривые или суммарные кривые отклонений годовых величин стока от среднего его значения за весь период наблюдений (рис. 3.1—3.3). Эти кривые удобны также и для выбора репрезентативного расчетного периода из длинного ряда наблюдений и для оценки положения имеющегося сравнительно короткого ряда наблюдений одной реки относительно циклов изменения водности в течение длительного многолетнего периода другой реки-аналога. Благодаря этому интегральные кривые нашли широкое применение в исследованиях колебания и расчетах годового стока. Строятся они для опорных пунктов на реках-аналогах с продолжительностью наблюдений не менее 50 лет.

Интегральные кривые отклонений годовых величин стока от его среднего значения строятся в относительных величинах — в модульных коэффициентах годового стока. Для построения такой кривой последовательно суммируются отклонения модульных коэффициентов хронологического ряда годового стока от их среднего многолетнего значения, равного единице $[\sum_{1}^{t}(k-1)]$.

Здесь модульный коэффициент $k=\frac{M}{M_0}$ или $k=\frac{Q}{Q_0}$.

Текущие ординаты разностной интегральной кривой на конец t-того года от начала построения кривой определяются по формуле

$$\sum_{1}^{t}(k-1)=f(t). \tag{3.7}$$

Так как величины модульных коэффициентов зависят от степени изменчивости стока в данном пункте, которая характеризуется величиной коэффициента вариации годового стока, то при

сопоставлении многолетних колебаний стока разных рек по их интегральным кривым исключается влияние C_v и разностные интегральные кривые строятся по ординатам

$$\frac{\sum_{1}^{t}(k-1)}{C_v} = f(t). \qquad (3.7')$$

С этой целью строятся совмещенные кривые в одном масштабе.

Как и всякая интегральная кривая по времени, указанная кривая обладает следующими свойствами. Отклонение среднего значения величины (в данном случае модульного коэффициента) за любой интервал времени m лет от среднего его значения за весь многолетний период наблюдений, равного единице, характеризуется тангенсом угла наклона линии, соединяющей точки начала и конца интервала, к горизонтальной прямой. Численное значение этого отклонения определяется отношением разности конечной и начальной ординаты за этот интервал к числу лет m в интервале, т. е. по формуле

$$k_{ср} - 1 = \frac{l_к - l_н}{m}, \qquad (3.8)$$

где $l_к$ и $l_н$ — конечная и начальная ординаты интегральной кривой для рассматриваемого отрезка времени; m — число лет в нем.

Период времени, для которого участок интегральной кривой имеет наклон вверх относительно горизонтальной линии и значение величин $k_{ср} - 1$ положительное, соответствует многоводной фазе цикла колебаний водности, а период, для которого участок кривой наклонен вниз и $k_{ср} - 1$ имеет отрицательное значение, соответствует маловодной фазе.

Исследования К. П. Воскресенского, выполненные с помощью интегральных кривых, показывают, что изменения водности рек в различных районах в разные годы неодинаковы. Поэтому привести данные наблюдений на всех реках Советского Союза к одному календарному периоду невозможно. Норма годового стока рек отдельных районов может быть получена путем приведения наблюдений на них к наиболее длительному периоду из числа имеющихся в этом районе.

На основе сопоставления многолетних колебаний стока в разных пунктах рассматриваемого района могут быть выбраны опорные посты для приведения стока по всем пунктам наблюдений к расчетному многолетнему периоду. В качестве опорных принимаются пункты с наиболее длительными по возможности непрерывными и надежными наблюдениями, расположенные на реках, являющихся типичными для данного района по величине и характеру колебаний годового стока.

Для выбора опорных пунктов подвергаются анализу интегральные кривые колебаний годового стока тех створов, длительность наблюдений на которых не менее 20—30 лет в районах избыточного и достаточного увлажнения и более 30 лет в засушливых районах.

Сравнение многолетних колебаний годового стока в различных пунктах может показать, что между его изменениями имеются примерно постоянные соотношения, т. е. колебания являются синхронными. В других случаях колебания только синфазные, когда на разных реках одновременно наблюдаются одинаковые фазы — многоводные или маловодные, но соотношения средних расходов за эти фазы меняются. И наконец, может оказаться, что колебания стока одной группы рек района не соответствуют изменению водности других рек. В первых двух случаях выбирается один опорный пункт на реке, которая может служить аналогом для других рек этого района. В третьем случае выбирается несколько опорных пунктов, каждый из которых может служить аналогом для других рек отдельных подрайонов.

Опорные пункты с длительными периодами наблюдений, которые использованы для определения многолетней нормы годового стока в створах с короткими рядами наблюдений, приводятся в таблицах справочников «Ресурсы поверхностных вод СССР». Материалы наблюдений в опорных створах могут быть использованы для выбора расчетных периодов.

Расчетные периоды для приведения годового стока к многолетнему ряду, как уже указывалось, выбираются с помощью интегральных разностных кривых, построенных для опорных пунктов. Если в том или ином районе отсутствуют реки с длительными рядами наблюдений, обеспечивающих определение нормы годового стока с требуемой точностью, то приведение делается по более коротким рядам; при этом указывается ошибка за принятый период.

Напомним, что при сравнительно коротких рядах наблюдений в опорных пунктах в расчетный период включают лишь полные циклы колебания водности реки (один или несколько), так как добавление к полным циклам нескольких маловодных или многоводных лет может, несмотря на удлинение ряда, не уменьшить, а увеличить ошибку определяемой нормы годового стока.

Неясно выраженные границы расчетного периода на интегральной кривой, например вследствие наложения циклов малой продолжительности, уточняются по кривым других рек-аналогов данного района.

Построение разностной интегральной кривой годового стока и выбор расчетного периода для приведения коротких рядов к многолетней норме рассматриваются на примере р. Камы у г. Перми.

Пример 3.2. Интегральная кривая отклонения годового стока от середины для р. Камы у г. Перми построена за многолетний период наблюдений (1881—1958 гг.). Вычисления ординат кривой $\frac{\sum_1^t (k-1)}{C_v} = f(t)$ сведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Вычисление ординат разностной интегральной кривой годовых модульных коэффициентов для р. Камы у г. Перми за период 1881—1958 гг.

№ п/п	Год	Годовой модуль стока M л/сек с 1 км²	$k = \frac{M_t}{M_0}$	$k-1$	$\sum_1^t (k-1)$	$\frac{\sum_1^t (k-1)}{C_v}$
1	2	3	4	5	6	7
0	1880	—	—	—	0	0
1	1881	10,1	1,03	0,03	0,03	0,16
2	1882	11,2	1,15	0,15	0,18	0,95
3	1883	9,18	0,94	—0,06	0,12	0,63
4	1884	9,70	0,99	—0,01	0,11	0,58
5	1885	9,00	0,92	—0,08	0,03	0,16
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
53	1933	7,50	0,77	—0,23	1,42	7,50
54	1934	8,28	0,85	—0,15	1,27	6,70
55	1935	9,65	0,99	—0,01	1,26	6,65
56	1936	(6,20)	0,64	—0,36	0,90	4,74
57	1937	(4,80)	0,49	—0,51	0,39	2,06
58	1938	5,70	0,59	—0,41	—0,02	—0,11
59	1939	8,40	0,86	—0,14	—0,16	—0,84
60	1940	8,45	0,86	—0,14	—0,30	—1,58
61	1941	8,82	0,90	—0,10	—0,40	—2,10
62	1942	9,95	1,02	0,02	—0,38	—2,00
63	1943	12,0	1,23	0,23	—0,15	—0,79
64	1944	11,2	1,15	0,15	0,0	0,0
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
73	1953	7,98	0,82	—0,18	0,06	0,32
74	1954	(7,40)	0,76	—0,24	—0,18	—0,95
75	1955	9,60	0,98	—0,02	—1,20	—1,05
76	1956	8,50	0,87	0,13	—1,32	—1,68
77	1957	11,1	1,14	0,14	—0,18	—0,95
78	1958	11,5	1,18	0,18	0,0	0,0
		Сумма 760,74 $M_0 = 9,76$	78	0		

С помощью кривой (см. рис. 3.3) можно выделить четыре полных цикла изменения водности, в том числе три из них (1881—1913; 1914—1922; 1942—1956 гг.) имеют $k_{ср} = 1,0$ и один (1923—1941 гг.) $k_{ср} = 0,97$ (табл. 3.4). Иными словами, водность каждого из этих периодов, включающих полные циклы колебания годового стока, равна или близка к средней водности р. Камы у г. Перми ($M_0 = 9,76$ л/сек с 1 км²) за весь период наблюдений 78 лет. Следовательно, каждый из этих периодов или несколько последовательно объе-

диненных в один более продолжительный период могут быть приняты в качестве расчетных периодов для определения нормы годового стока.

Интегральная кривая годового стока р. Камы у г. Перми может быть использована для оценки водности более коротких периодов наблюдений над годовым стоком и определения многолетней нормы в других пунктах на самой р. Каме или на реках ее бассейна выше г. Перми.

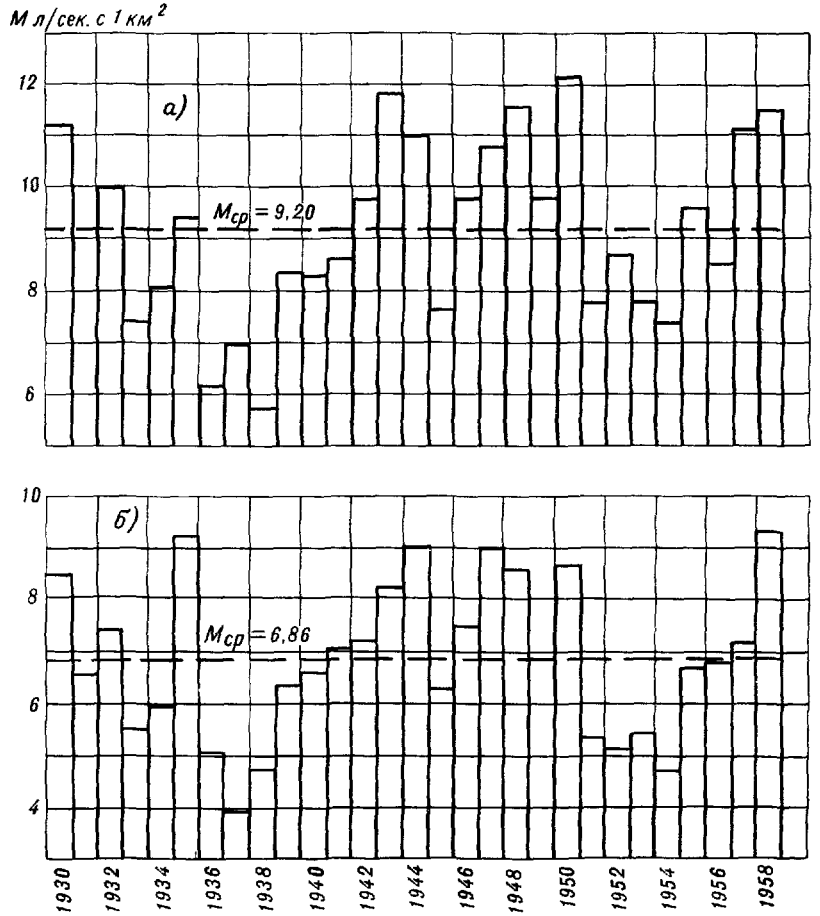


Рис. 3.4. Совмещенные хронологические графики колебаний годового стока.

а — р. Кама — г. Пермь; б — р. Кама — с. Волосницкое.

Например, для приведения к многолетнему периоду годового стока рек в бассейне р. Верхней Камы могут быть использованы наблюдения на р. Каме у с. Волосницкого (F=9750 км²) за 29 лет (1930—1958 гг.). Для чего нужно оценить водность этого ограниченного ряда и возможность принятия средней величины годового стока за этот период в качестве многолетней нормы. С этой целью строится совмещенная разностная интегральная кривая годового стока р. Камы у с. Волосницкого (см. рис. 3.3) и хронологические графики колеба-

Таблица 3.4

Водность р. Камы у г. Перми по отдельным циклам и периодам относительно многолетнего периода 1881—1958 гг.

Период наблюдений, гг.	Число лет	$M_{ср}$	$k_{ср}$	Отклонение от среднего многолетнего в %
1881—1913	33	9,8	1,00	0
1914—22	9	9,8	1,00	0
1923—41	19	9,6	0,97	—3
1942—56	16	9,8	1,00	0
1881—1922	42	9,7	0,99	—1
1881—1941	61	9,7	0,99	—1
1881—1958	78	9,8	1,00	0
1930—58	29	9,2	0,94	—6
1930—41	12	8,1	0,83	—17

ния годового стока в створах у г. Перми и у с. Волосницкого (рис. 3.4). На обоих рисунках хорошо прослеживается синхронность колебания годового стока в рассматриваемых створах, а на рис. 3.5 показана тесная связь годовых модулей стока этих пунктов, что дает основание считать опорный пункт

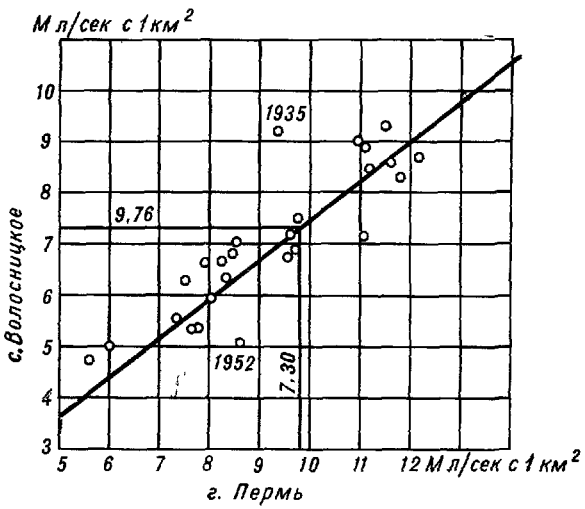


Рис. 3.5. Связь годовых модулей стока р. Камы у г. Перми и р. Камы у с. Волосницкого (r=0,97).

г. Пермь с рядом наблюдений 78 лет аналогом для створа с. Волосницкое.

По данным длинного ряда наблюдений у г. Перми (см. рис. 3.3 и табл. 3.4) видно, что период 1930—1958 гг., в течение которого велись наблюдения у с. Волосницкого, включает один полный цикл колебания водности (1942—1956 гг.) и только маловодную фазу второго цикла (1930—1941 гг.). Средний модульный коэффициент полного цикла равен 1,00, а маловодной фазы 0,83,

что соответствует отклонению среднего стока за 1930—1941 гг. от средней многолетней величины на 17%, или в 2,9 раза больше средней квадратической ошибки (при $n=12$ и $C_v=0{,}20$).

За весь период наблюдений у с. Волосницкого (1930—1958 гг.) средний модульный коэффициент годового стока р. Камы у г. Перми равен 0,94, т. е. средняя величина годового стока за этот период в 29 лет ниже многолетней нормы на 6%. Это показывает, что при сравнительно коротких рядах наблюдений, как это имеет место в створе у с. Волосницкого (29 лет), необходимо соблюдать требование о включении в расчетный период лишь полных циклов, которые можно установить достоверно по интегральным кривым опорных пунктов.

§ 3.3. РАСЧЕТ НОРМЫ ГОДОВОГО СТОКА ПРИ НАЛИЧИИ КОРОТКИХ РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ

В практике расчета нормы годового стока и величин его различной обеспеченности часто приходится иметь дело с короткими рядами наблюдений, продолжительность которых не обеспечивает получение результата с требуемой точностью ($\sigma>5\%$). В этих случаях величина среднего годового стока, полученная по имеющемуся короткому ряду, приводится к расчетному многолетнему периоду. Расчетный период выбирается по рекам-аналогам, которые имеют длинный ряд наблюдений, обеспечивающий требуемую точность, и колебания годового стока, соответствующие колебаниям его в расчетном створе.

Если река-аналог имеет продолжительность наблюдений, обеспечивающую допустимую точность нормы стока в расчетном створе, то расчетная норма стока определяется непосредственно по норме реки-аналога. В другом случае для реки-аналога строится интегральная кривая и по ней устанавливается расчетный период.

В качестве аналогов для расчетной реки или створа выбираются расположенные вблизи водосборы, обладающие зональной однородностью по географическому и высотному положению и сходством в отношении факторов подстилающей поверхности (озерности, заболоченности, рельефа, характера почво-грунтов и др.). Учитываются также размеры водосборов и искажение естественной величины стока (изъятие и сбросы воды).

Главным и наиболее объективным критерием правильности выбора аналога является наличие синхронности колебаний годовых расходов или модулей стока и достаточно надежной корреляционной связи стока за годы одновременных наблюдений рассматриваемого водосбора и его аналога. Соответствие или синхронность колебаний годового стока в двух створах проверяется по совмещенным хронологическим графикам (см. рис. 3.4) или интегральным кривым (см. рис. 3.3).

Приведение ряда к многолетнему периоду может быть сделано по установленной графической или аналитической зависи-

мости годовых величин стока рек с коротким и длинным рядами наблюдений.

Наиболее распространенным способом является построение графических связей годовых величин стока в двух рассматриваемых створах за период совместных наблюдений (см. рис. 3.5). Такие графики дают достаточно наглядное представление о тесноте связи, обоснованности выбора реки-аналога и виде зависимости.

Построение графиков связи производится в таких масштабах, чтобы линия связи проходила под углом примерно 45°. (Это почти всегда достигается, если на график накладываются точки годовых модулей стока M в *л/сек* с 1 *км*^{2}).

Связи годовых величин стока могут быть прямолинейными и криволинейными. Криволинейные связи допустимы лишь в тех случаях, когда они объясняются не случайным расположением точек, а характером колебания годового стока в двух сравниваемых створах. Для обоснования криволинейной связи необходимо иметь достаточно большое число точек, не менее 15—20. В большинстве случаев число точек бывает недостаточным для этой цели, и поэтому чаще всего принимаются прямолинейные связи.

Удовлетворительная прямолинейная связь может быть получена даже по восьми-десяти годовым расходам при достаточно тесном расположении точек по обе стороны от линии связи и наличии в их составе точек, близких к их среднему значению, а также при равномерном распределении точек по всей амплитуде годовых величин стока за совместный период наблюдений.

При недостаточном количестве годовых расходов (пять—семь и меньше) для построения графиков связи дополнительно используются сезонные и средние месячные величины стока, хотя они, как правило, располагаются с большим разбросом. Для более уверенного определения направления линии связи используются центры тяжести групп точек, а также центр тяжести всех точек, через который проходит прямая связи.

Связь считается удовлетворительной и приемлемой для практических расчетов, если отклонения большей части точек не превышают 15% и коэффициент корреляции их $r \geqslant 0{,}7 \div 0{,}8$.

Все закономерные и незакономерные отклонения, превышающие 15%, должны быть объяснены на основе гидрологического анализа.

Коэффициент корреляции r определяется по формуле

$$r = \frac{\sum (y_i - y_0)(x_i - x_0)}{\sqrt{\sum (y_i - y_0)^2 \sum (x_i - x_0)^2}}, \qquad (3.9)$$

или

$$r = \frac{\sum (k_y - 1)(k_x - 1)}{n C_{vy} C_{vx}}, \qquad (3.9')$$

где y_i и x_i — соответственные значения годового стока рассматриваемых рядов; y_0 и x_0 — средние значения годового стока каждого ряда; k_x и k_y — модульные коэффициенты годового стока в опорном и приводимом пунктах; C_{vx} и C_{vy} — коэффициенты вариации годового стока в этих пунктах за период одновременных наблюдений n лет.

Вычисления коэффициентов корреляции и определение уравнения кривой прямой регрессии связи двух переменных сводятся в специальную таблицу (табл. 3.5).

При длинных рядах одновременных наблюдений и массовых расчетах коэффициент корреляции целесообразно определять на электронных вычислительных машинах.

Ошибка расчетной нормы годового стока, полученной путем приведения короткого ряда наблюдений к многолетнему периоду по графикам связи, состоит из ошибки средней величины ряда наблюдений в опорном пункте на реке-аналоге и ошибки корреляции, возникающей вследствие рассеивания точек на графике связи.

Согласно теории ошибок, суммарная ошибка для приводимого пункта равна

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}\,\%, \tag{3.10}$$

где σ_1 — ошибка средней величины из длинного ряда наблюдений в опорном пункте продолжительностью N лет, определяемая по формуле (3.5); σ_2 — ошибка корреляции (связи) стока за период одновременных наблюдений, равная

$$\sigma_2 = \frac{C_{v_2}\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n_2}}\,100\%. \tag{3.11}$$

В формуле (3.11) C_{v_2} — коэффициент вариации годового стока в приводимом створе за период одновременных наблюдений; r — коэффициент корреляции связи годового стока в обоих створах; n_2 — число лет одновременных наблюдений.

Иногда продолжительность наблюдений на реке-аналоге недостаточна для определения нормы стока в расчетном створе с требуемой точностью или период наблюдений в обоих створах не совпадает по времени. В этих случаях норму стока реки-аналога предварительно уточняют непосредственно или с удлинением ряда по другой реке с более длинным рядом наблюдений, которая служит в свою очередь рекой-аналогом (опорным створом) для первого (непосредственного) аналога. Ошибка нормы стока, установленной с помощью двух связей, равна

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2}\,\%, \tag{3.12}$$

Таблица 35

Определение корреляционной связи годовых модулей стока р. Миасс в створах с. Каргаполье и с. Сосновское

№ п/п	Годы	Модули стока л/сек с 1 км²		$\Delta_y = y - y_0$	$\Delta_x = x - x_0$	$\Delta_{y^2} = (y - y_0)^2$	$\Delta_{x^2} = (x - x_0)^2$	$\Delta_x \cdot \Delta_y = (x - x_0) \times (y - y_0)$	$\Delta_x + \Delta_y = (x - x_0) + (y - y_0)$	$(\Delta_x + \Delta_y)^2 = \Delta_{x^2} + 2\Delta_x \Delta_y + \Delta_{y^2}$
		с. Каргаполье y	с. Сосновское x							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1934	0,54	1,69	−0,21	−0,06	0,044	0,004	0,013	−0,27	0,073
2	1935	0,29	0,97	−0,46	−0,78	0,212	0,609	0,358	−1,24	1,540
3	1936	0,26	0,94	−0,49	−0,81	0,240	0,656	0,397	−1,30	1,690
4	1949	0,85	1,65	0,10	−0,10	0,010	0,010	−0,010	0,00	0,000
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
18	1963	0,77	1,47	0,02	−0,28	0,000	0,076	−0,006	−0,26	0,068
19	1964	1,12	2,58	0,37	0,83	0,137	0,690	0,290	1,20	1,440
Сумма		14,2	31,3	0	0	1,375	5,596	2,430		11,830
Среднее		0,75	1,75							

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

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

Средние квадратичные отклонения σ_x и σ_y

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x - x_0)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{5{,}596}{18}} = 0{,}56;$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y - y_0)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{1{,}375}{18}} = 0{,}28.$$

Коэффициент корреляции

$$r_{xy} = \frac{\sum (x - x_0)(y - y_0)}{\sqrt{\sum (x - x_0)^2 (y - y_0)^2}} = \frac{\sum \Delta_x \cdot \Delta_y}{n \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y} = \frac{2{,}430}{19 \cdot 0{,}56 \cdot 0{,}28} = 0{,}82.$$

Коэффициент регрессии

$$R_{x,y} = r \frac{\sigma_x}{\sigma_y} = 0{,}82 \frac{0{,}56}{0{,}28} = 1{,}64; \qquad R_{y,x} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 0{,}82 \frac{0{,}28}{0{,}56} = 0{,}41.$$

Уравнение прямой регрессии

x по y $\quad x - x_0 = Rx/y\,(y - y_0) \quad x = 1{,}64y + 0{,}52.$

y по x $\quad y - y_0 = Ry/x\,(x - x_0) \quad y = 0{,}41x - 0{,}03.$

Средняя ошибка уравнения регрессии

$$S_x = \sigma_x \sqrt{1 - r^2} = 0{,}56 \sqrt{1 - 0{,}82^2} = 0{,}31;$$

$$S_y = \sigma_y \sqrt{1 - r^2} = 0{,}28 \sqrt{1 - 0{,}82^2} = 0{,}16.$$

Вероятная ошибка коэффициента корреляции

$$E_r = 0{,}674 \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}} = 0{,}674 \frac{1 - 0{,}82^2}{\sqrt{19}} = 0{,}05.$$

Предельная ошибка $r = \pm 4Er. \pm 0{,}20.$

где σ_3 — ошибка корреляционной связи стока в первом и втором опорных пунктах, последовательно принимаемых за аналоги приводимого пункта, определяемая по (3.11).

В зависимости от вида связи, используемой для приведения среднего годового стока за короткий ряд наблюдений к многолетней расчетной норме, могут встретиться следующие случаи.

1. Связь прямолинейная, проходит через начало координат. Записывается она таким уравнением:

$$M_0 = aM_{0\,a}, \tag{3.13}$$

где M_0 и $M_{0\,a}$ — многолетняя норма годового стока расчетной реки и реки-аналога.

Такая связь имеет место в случаях, когда колебания годового стока в обоих пунктах примерно одинаковы и коэффициенты вариации их близки между собой. При этом расчетная норма годового стока реки с коротким рядом наблюдений определяется по графику связи непосредственно по норме стока реки-аналога, полученной за весь многолетний период наблюдений или за установленный расчетный период. Восстанавливать все годовые величины стока, чтобы затем получить по ним среднее значение, нет необходимости, так как это приведет к увеличению ошибки.

Решить поставленную задачу в этом случае можно также и аналитически, применив так называемый способ коэффициентов, или отношений. Так, подставив в уравнение (3.13) вместо углового коэффициента a отношение $\frac{M_{ср}}{M_{ср\,a}}$, получим

$$M_0 = M_{0\,a}\frac{M_{ср}}{M_{ср\,a}}, \tag{3.14}$$

где M_0 — норма годового стока расчетной реки; $M_{0\,a}$ — то же реки-аналога; $M_{ср}$ — средняя величина годового стока за короткий период наблюдений по расчетной реке; $M_{ср\,a}$ — то же по реке-аналогу.

Последняя формула может быть представлена в другом виде

$$M_0 = \frac{M_{ср}}{k_a}, \tag{3.14'}$$

где k_a — средний модульный коэффициент за короткий период наблюдений по реке-аналогу, равный $\frac{M_{ср\,a}}{M_{0\,a}}$.

2. Связь прямолинейная, но линия связи не проходит через начало координат, а отсекает некоторый отрезок b на одной из осей координат. Записывается она уравнением

$$M_0 = aM_{0\,a} \pm b. \tag{3.15}$$

Связь вида (3.15) означает, что при какой-то малой величине годового стока одной реки на другой реке в течение всего этого года стока не было. Такие случаи встречаются в засушливых районах Казахстана, Заволжья и др. Объясняется это тем, что в очень маловодные годы сток отдельных рек задерживается в разобщенных плесах и в многочисленных прудах-водохранилищах, создаваемых в речной системе. На некоторых реках в такие маловодные годы сток совершенно отсутствует. Объясняется это размерами водосборов, очень плоским рельефом, наличием мелких, пересыхающих озер и пр.

Следовательно, такая связь говорит о неодинаковых колебаниях годового стока и разных значениях коэффициентов вариации в обоих пунктах. В этом случае расчетная величина нормы годового стока реки с коротким рядом наблюдений также определяется непосредственно по многолетней норме годового стока реки-аналога, пользуясь графиком связи.

Способ коэффициентов при смещении линии связи относительно начала координат может дать ошибку расчетной нормы, поскольку он не учитывает отсекаемого отрезка b. Величина и знак такой ошибки зависят от водности короткого периода наблюдений и колебаний годового стока рассматриваемых рек.

Например, если коэффициент вариации или колебание годового стока в опорном пункте будет меньше, чем в расчетном створе, и короткий период наблюдений оказался многоводным, что можно установить по реке-аналогу, то, пользуясь способом коэффициентов, получим преувеличение приведенной нормы. В случае маловодного периода при том же соотношении коэффициентов вариации получим заниженное значение расчетной нормы. Такое соотношение коэффициентов вариации может иметь место, когда в качестве реки-аналога принят большой водосбор, у которого колебания годового стока менее значительны, чем на малом водосборе расчетной реки. В случае когда река-аналог имеет малый водосбор с бо́льшим колебанием годового стока, чем на большем водосборе расчетной реки, то при многоводном коротком периоде, наоборот, получим заниженное значение приведенной нормы, а при маловодном периоде — завышенное. Влияние смещения линии связи относительно начала координат на величину приведенной нормы стока показано на рис. 3.6.

Значительная разница в коэффициентах вариации годового стока расчетной реки и реки-аналога, а также разница между средней величиной стока за короткий период наблюдений и средней многолетней (нормой) может служить причиной больших ошибок приведения стока к многолетней норме.

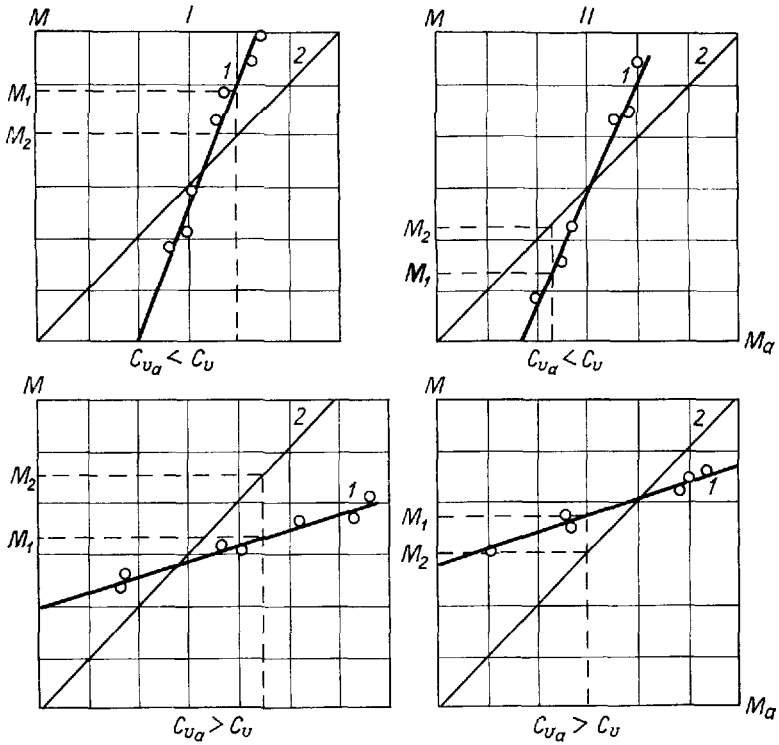


Рис. 3.6. Влияние смещения линии связи относительно начала координат на величину нормы стока.

1 — фактическая линия связи ($C_v \gtrless C_{v\,a}$); *2* — линия связи, проходящая через начало координат ($C_v = C_{v\,a}$).

Лишь в случае, когда водность короткого периода близка к средней многолетней, и при разных значениях коэффициентов вариации годового стока в рассматриваемых створах результаты приведения способом коэффициентов будут иметь необходимую точность.

3. При наличии параллельных наблюдений в двух пунктах в течение 10—15 лет и более и значении коэффициента корреляции величин годового стока не менее 0,8 приведение средней ве-

личины короткого ряда к многолетнему периоду может быть произведено по уравнению регрессии

$$M_0 = M_{ср} + r\frac{\sigma_M}{\sigma_{M_a}}(M_{0\,a} - M_{ср\,a}), \qquad (3.16)$$

где M_0 — норма годового стока в *л/сек* с 1 *км*^{2}; $M_{ср}$ — средняя величина годового стока за короткий период наблюдений в *л/сек* с 1 *км*^{2}; σ_M — средние квадратические отклонения годовых модулей или расходов; r — коэффициент корреляции между значениями годового стока за период параллельных наблюдений; а — индекс, означающий, что данная характеристика относится к реке-аналогу.

И в этом случае предварительно строится график связи для подтверждения наличия тесной зависимости годовых величин стока в обоих пунктах.

4. В отдельных случаях точки годового стока, нанесенные на график связи, располагаются около некоторой кривой. Если имеется основание полагать, что криволинейная зависимость является не случайным расположением точек, а объясняется характером колебаний годового стока в рассматриваемых пунктах, то такая связь принимается в качестве расчетной. Пользуясь ею, год за годом восстанавливаются величины годового стока за весь тот период, когда не было наблюдений в расчетном створе, а затем по удлиненному ряду, состоящему из наблюденных и восстановленных величин, определяется средняя многолетняя величина, или норма, годового стока.

5. В частном, но нередко встречающемся случае, когда на реке-аналоге средние значения стока за короткий и длинный периоды одинаковы, приведение к норме может не выполняться, ибо независимо от того, какой вид имеет связь между величинами стока обеих рек, средняя величина стока, полученная по расчетной реке за короткий период, не изменится. Эта средняя величина принимается в качестве расчетной нормы для рассматриваемой реки, если, конечно, аналог удовлетворяет всем требованиям и связь годовых величин стока достаточно тесная.

6. В случае когда в данном физико-географическом районе не имеется ни одного опорного пункта с длинным рядом наблюдений над стоком, приведение короткого ряда к многолетней норме может быть выполнено по связи годового стока с метеорологическими элементами. В качестве основных метеорологических элементов для построения графиков связи, пригодных для удлинения коротких рядов наблюдений над стоком, наиболее целесообразно использовать осадки или дефицит влажности. Схема построения графиков связи и использования их для удлинения рядов годового стока в этом случае будет аналогична по-

строению графиков связи модулей стока расчетной реки и реки-аналога. Точность результатов обычно получается ниже, чем при увязке стока двух бассейнов, расположенных в однородных физико-географических условиях.

Примеры определения нормы стока при коротких рядах наблюдений рассматриваются ниже.

Пример 3.3. В примере 3.2 по многолетним наблюдениям на р. Каме у г. Перми установлены циклы колебания годового стока и расчетные периоды, которые могут быть использованы для приведения средних величин годового стока к многолетней норме при ограниченных наблюдениях. Определим норму годового стока р. Камы у с. Волосницкого по наблюдениям за 29 лет (1930—1958 гг.).

Для расчетов используем материалы примера 3.2.

Из табл. 3.4 видно, что период 1930—1958 гг. характеризуется модульным коэффициентом $k_{ср}=0{,}94$ и включает один полный цикл колебания годового стока (1942—1956 гг.) с $k_{ср}=1{,}0$ и маловодную фазу второго цикла (1930—1941 гг.) с $k_{ср}=0{,}83$.

В данном случае можно использовать два варианта приведения к многолетнему периоду:

1) за норму годового стока у с. Волосницкого принять среднее значение стока за 15-летний период (1942—1956 гг.), который включает полный цикл колебаний стока с $k_{ср}=1{,}0$;

2) установить норму годового стока р. Камы у с. Волосницкого по многолетней норме р. Камы у г. Перми с помощью графика связи годовых модулей стока, построенного за период параллельных наблюдений (1930—1958 гг.) в обоих створах.

Рассмотрим второй вариант

Средняя величина годового стока р. Камы у с. Волосницкого за период 1930—1958 гг. (табл. 3.6) равна

$$M_{ср}=\frac{\sum_{1}^{29} M}{29}=\frac{199{,}01}{29}=6{,}86\ л/сек\ с\ 1\ км^2.$$

Коэффициент вариации годового стока в этом створе, вычисленный по 29-летнему ряду,

$$C_v=\sqrt{\frac{\sum(k-1)^2}{n-1}}=\sqrt{\frac{1{,}377}{28}}=0{,}22.$$

Средняя квадратическая ошибка 29-летней средней величины составляет

$$\sigma_n=\frac{100C_v}{\sqrt{n}}=\frac{100\cdot 0{,}22}{\sqrt{28}}=4\%.$$

Как видно, средняя квадратическая ошибка не велика и не выходит за пределы допустимой точности; формально средняя величина годового стока за период 1930—1958 гг., равная 6,86 *л/сек* с 1 *км*^{2}, может быть принята в качестве многолетней нормы. Однако, как установлено выше по многолетнему ряду у г. Перми (см. табл. 3.4), период 1930—1958 гг., представленный одним полным циклом колебания водности и только маловодной фазой второго цикла, имеет водность ниже средней на 6% ($k_{ср}=0{,}94$) и не может быть принят в качестве репрезентативного расчетного периода.

Таблица 3.6

Годовые модули стока р. Камы в створах у г. Перми ($F=169\,000$ км²) и у с. Волосницкого ($F=9750$ км²) за период одновременных наблюдений 1930—1958 гг.

№ п/п	Год	*М л/сек* с 1 км²		№ п/п	Год	*М л/сек* с 1 км²	
		с. Волосницкое	г. Пермь			с. Волосницкое	г. Пермь
1	1930	8,50	11,2	16	1945	6,29	7,63
2	1931	6,60	7,99	17	1946	7,46	9,82
3	1932	7,41	10,0	18	1947	8,96	10,8
4	1933	5,51	7,40	19	1948	8,64	11,6
5	1934	5,95	8,05	20	1949	6,91	9,76
6	1935	9,25	9,35	21	1950	8,74	12,2
7	1936	5,05	6,16	22	1951	5,39	7,76
8	1937	3,92	6,69	23	1952	5,13	8,70
9	1938	4,72	5,73	24	1953	5,38	7,81
10	1939	6,36	8,40	25	1954	4,70	(7,40)
11	1940	6,66	8,34	26	1955	6,68	9,58
12	1941	7,05	8,58	27	1956	6,79	8,51
13	1942	7,19	9,76	28	1957	7,16	11,1
14	1943	8,29	11,8	29	1958	9,33	11,5
15	1944	9,01	11,0				
					Средний	6,86	9,20

Приведение средней величины годового стока р. Камы у с. Волосницкого к многолетней норме выполним по спорному створу-аналогу на р. Каме у г. Перми, где имеются наблюдения за 78 лет.

Для этого за период одновременных наблюдений (1930—1958 гг.) построен график связи годовых модулей стока обоих створов (см. табл. 3,6, рис. 3.5). Связь прямолинейная и достаточно тесная. От общего расположения всех точек значительно отклоняются лишь точки 1935 и 1952 гг. Причину этого отклонения нужно искать в исходных данных или в аномалии водности этих лет в пределах бассейна р. Камы.

Коэффициент корреляции связи достаточно высокий и равен 0,97.

Непосредственно по норме стока р. Камы у г. Перми, равной 9,76 *л/сек* с 1 км², с графика связи (см. рис. 3.5) снята многолетняя норма годового стока р. Камы у с. Волосницкого. Она оказалась равной 7,30 *л/сек* с 1 км², т. е. на 0,44 *л/сек* с 1 км², или на 6%, больше среднего значения за период непосредственных наблюдений 1930—1958 гг.

Средняя квадратическая ошибка приведенной нормы стока, определяемая по формуле (3.10), равна

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{2{,}2^2 + 1{,}1^2} = 2{,}5\%.$$

Здесь σ_1 — средняя квадратическая ошибка многолетней нормы в опорном створе у г. Перми за 78 лет, равная

$$\sigma_1 = \frac{100 C_{v_1}}{\sqrt{N_1}} = \frac{100 \cdot 0{,}19}{\sqrt{78}} = 2{,}2\ \%;$$

σ_2 — ошибка связи за период одновременных наблюдений n_2 в обоих створах, равная

$$\sigma_2 = \frac{C_{v_2}\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n_2}} \cdot 100 = \frac{100 \cdot 0{,}22\sqrt{1-0{,}97^2}}{\sqrt{29}} = 1{,}1\%.$$

Таким образом, в качестве расчетной многолетней нормы годового стока р. Камы у с. Волосницкого принимается величина, приведенная к многолетиему периоду, равная 7,30 *л/сек* с 1 *км*², или Q_0=71,2 *м*³/*сек*. Средняя квадратическая ошибка этой величины составляет 2,5%.

Пример 3.4. Определить норму годового стока р. Унжи у г. Мантурово и р. Неи у д. Буслаево при коротких рядах наблюдений, используя для этого различные приемы приведения.

Имеется 18-летний ряд наблюдений над стоком (с 1949 по 1966 г.) на р. Унже у г. Мантурово и 33-летний ряд наблюдений над стоком (с 1934 по 1966 г.) на р Нее у д. Буслаево.

Таблица 3.7

Подсчет коэффициента вариации годового стока р. Унжи у г. Мантурово
F=16 200 *км*²

№ п/п	Год	*M л/сек* с 1 *км*²	*M* в убыв. порядке	k	$k-1$		$(k-1)^2$	$p=\frac{m-0{,}3}{n+0{,}4}\cdot 100$
					+	−		
1	1949	6,02	16,1	1,82	0,82		0,674	3,8
2	1950	6,91	12,7	1,44	0,44		0,194	9,2
3	1951	6,54	10,6	1,21	0,21		0,044	15
4	1952	16,1	10,4	1,18	0,18		0,032	20
5	1953	12,7	10,2	1,16	0,16		0,026	25
6	1954	9,63	9,81	1,11	0,11		0,012	31,0
7	1955	10,2	9,63	1,09	0,09		0,008	3,6
8	1956	9,32	9,32	1,06	0,06		0,004	42
9	1957	10,4	9,20	1,05	0,05		0,002	47
10	1958	10,6	8,83	1,00	0		0,0	53
11	1959	7,35	8,52	0,96		0,04	0,002	58
12	1960	4,80	7,35	0,83		0,17	0,029	64
13	1961	8,83	6,91	0,78		0,22	0,048	69
14	1962	8,52	6,54	0,74		0,26	0,068	74
15	1963	6,36	6,36	0,72		0,28	0,079	80
16	1964	5,58	6,02	0,68		0,32	0,102	85
17	1965	9,20	5,58	0,63		0,37	0,137	91
18	1966	9,81	4,80	0,54		0,46	0,212	96
Сумма		158,87		18	0		1,673	

$$M_0 = 8{,}83$$

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (k-1)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1{,}673}{17}} = 0{,}31$$

Средняя величина годового стока по материалам непосредственных наблюдений составляет:

р. Унжа у г. Мантурово

$$M_n = \frac{158{,}87}{18} = 8{,}83 \text{ л/сек с 1 км}^2,$$

р. Нея у д. Буслаево

$$M_n = \frac{263{,}1}{33} = 7{,}96 \text{ л/сек с 1 км}^2.$$

Коэффициенты вариации и средние квадратические ошибки, вычисленные по формулам (4.1) и (3.5), соответственно равны: $C_v = 0{,}31$, $\sigma_n \frac{100 \cdot 0{,}31}{\sqrt{17}} = 7{,}5\%$, $C_v = 0{,}29$, $\sigma_n = \frac{100 \cdot 0{,}29}{\sqrt{33}} = 5{,}0\%$ (см. табл. 3 7 и 3.8).

Для створа г. Мантурово на р. Унже ошибка σ_n выходит за пределы допустимых и требуется удлинение 18-летнего ряда наблюдений. Для р. Неи у д. Буслаево ряд наблюдений в 33 года достаточен для определения нормы, так как $\sigma_n = 5\%$ допустима.

Но р. Нея может быть использована в качестве аналога для удлинения более коротких рядов наблюдений на других реках бассейна р. Уижи, поэтому необходимо оценить водность периода 1934—1966 гг. по опорному пункту.

Таблица 3.8

Подсчет коэффициента вариации и асимметрии годового стока р. Неи у д. Буслаево $F = 5700$ км²

№ п/п	Год	M л/сек с 1 км²	M в убыв. порядке	k	$k-1$		$(k-1)^2$	$(k-1)^3$	$p = \frac{m-0{,}3}{n+0{,}4} \cdot 100$
					+	−			
1	1934	6,75	14,5	1,81	0,8		0,65	0,5	2,1
2	1935	7,86	13,4	1,67	0,67		0,45	0,30	5,1
3	1936	8,21	11,4	1,43	0,43		0,18	0,08	8,1
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .		. . .	. . .	. . .
32	1965	8,23	5,28	0,66		0,34	0,116	−0,039	95
33	1966	10,4	4,68	0,59		0,41	0,168	−0,069	98
Сумма		263,1		33		0	2,664	0,791	

$$M_0 = 7{,}96$$

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (k-1)^2}{n}} = 0{,}29,$$

$$C_s = \frac{\sum (k-1)^3}{(n-1)\, C_v} = 0{,}89$$

$$\sigma_M = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100 = 5{,}0\,\%$$

В качестве опорного пункта-аналога для двух рассматриваемых створов может служить створ у г. Макарьева на р. Унже, где ведутся наблюдения над стоком и ряд наблюдений составляет 71 год (с 1896 по 1966 г.).

Норма годового стока у г. Макарьева равна 8,49 *л/сек* с 1 *км*^{2}, коэффициент вариации C_v=0,28, средняя квадратическая ошибка нормы составляет 3,3%.

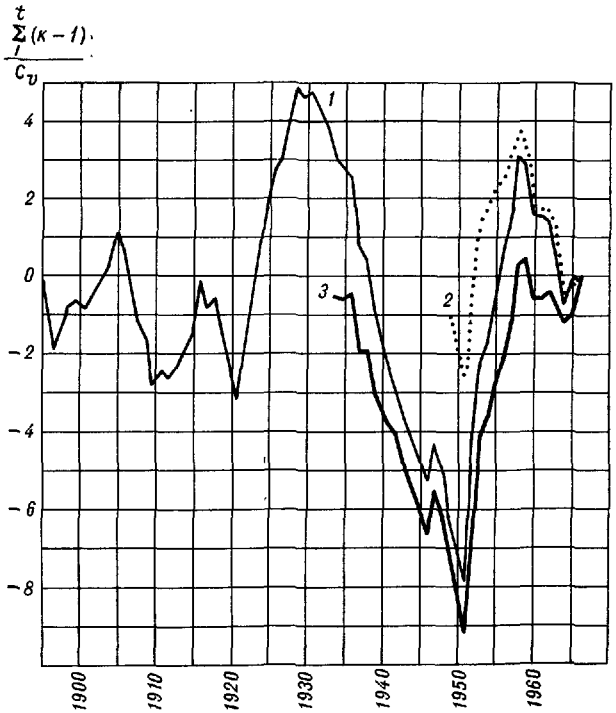


Рис. 3.7. Совмещенные суммарные кривые отклонений от середины модульных коэффициентов годового стока.

1 — р. Унжа — г. Макарьев (C_v=0,28), *2* — р. Унжа — г. Мантурово (C_v=0,31), *3* — р. Нея — д. Буслаево (C_v=0,29).

На рис. 3.7 представлены совмещенные интегральные кривые годового стока, ординаты которых вычислены по материалам наблюдений в трех рассматриваемых створах (табл. 3.9, 3.10, 3.11; см. пример 3.2, табл. 3.3.). Они свидетельствуют о хорошей синхронности колебаний годового стока в этих створах.

Период наблюдений на р. Унже у г. Макарьева включает четыре полных цикла колебания водности, и весь ряд наблюдений в этом створе (71 год) может быть принят для установления многолетней нормы. Наблюдения у г. Мантурова (1949—1966 гг.) включают один полный цикл колебания водности, конец маловодной фазы второго цикла и начало многоводной фазы третьего цикла. Средняя водность за весь этот период (18 лет), оцененная по створу у г. Макарьева, составляет 1,09, т. е. на 9% выше многолетней нормы. Средняя водность р. Нен у д. Буслаево за период 1934—1966 гг. характеризуется $k_{ср}$=0,97, т. е. только на 3% ниже средней многолетней величины.

Таблица 3.9

Вычисление ординат разностной интегральной кривой модульных коэффициентов годового стока р. Унжи у г. Макарьева за период наблюдений 1896—1966 гг.

$C_v = 0{,}28$

№ п/п	Год	M л/сек с 1 км²	$k = \frac{M}{M_0}$	$k-1$	$\sum_1^t (k-1)$	$\frac{\sum_1^t (k-1)}{C_v}$
0	1895	—	—	—	—	—
1	1896	6,70	0,78	—0,22	—0,22	—0,78
2	1897	5,84	0,69	—0,31	—0,53	—1,87
3	1898	5,57	0,66	—0,34	—0,87	—3,10
4	1899	14,2	1,67	0,67	—0,20	—0,71
5	1900	8,70	1,02	0,02	—0,18	—0,64
6	1901	7,95	0,94	—0,06	—0,24	—0,82
7	1902	9,19	1,08	0,08	—0,16	—0,57
8	1903	9,41	1,10	0,10	—0,06	—0,21
9	1904	9,57	1,13	0,13	0,07	0,25
10	1905	10,8	1,27	0,27	0,34	1,21
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
70	1965	10,0	1,18	0,18	—0,05	—0,18
71	1966	8,92	1,05	0,05	0,00	0,00
	Сумма	603,7	71	0		

$M_0 = 8{,}49$

За годы параллельных наблюдений на р. Унже у г. Макарьева и у г. Мантурово (18 лет) и на р. Нее у д. Буслаево (33 года) построены графики связи годового стока (рис. 3.8, 3.9). В обоих случаях связь хорошая, прямолинейная и проходит через начало координат. Коэффициенты корреляции связей высокие (0,98 и 0,96). Следует отметить, что в состав годовых модулей, по которым построены графики связи, вошли модули очень многоводного 1952 г. и маловодных 1937 и 1960 лет, благодаря которым хорошо освещена амплитуда колебаний годового стока в многолетнем разрезе.

Непосредственно по многолетней норме стока р. Унжи у г. Макарьева с помощью графиков связи (рис. 3.8, 3.9), установлены многолетние значения нормы годового стока р. Унжи у г. Мантурово и р. Неи у д. Буслаево. В обоих створах они оказались одинаковыми и равными 8,10 *л/сек* с 1 *км*².

Ошибки приведенных величин, вычисленные по формуле (3.10), соответственно равны:

р. Унжа у г. Мантурово $\sigma = \sqrt{3.3^2 + 4{,}6^2} = 5{,}6\%$,

р. Нея у д. Буслаево $\sigma = \sqrt{3{,}3^2 + 4{,}5^2} = 5{,}6\%$.

Ошибки связи, вычисленные за периоды одновременных наблюдений по формуле (3.11), соответственно равны 4,6 и 4,5%.

Таким образом, многолетняя норма годового стока р. Унжи у г. Мантурово и р. Неи у д. Буслаево, установленная с помощью графиков связи годовых модулей непосредственно по многолетней норме р. Унжи у г. Макарьева, равна 8,10 *л/сек* с 1 *км*². Общая средняя квадратическая ошибка с учетом ошибки ряда наблюдений в опорном пункте и ошибок связи составляет для двух створов 5,6%, которую можно считать допустимой.

Таблица 3.10

Вычисление ординат разностной интегральной кривой модульных коэффициентов годового стока р. Унжи у г. Мантурово за период наблюдений 1949—1966 гг.

$C_v = 0{,}31$

№ п/п	Год	M л/сек с 1 км²	$k = \frac{M}{M_0}$	$k-1$	$\sum_1^t (k-1)$	$\frac{\sum_1^t (k-1)}{C_v}$
0	1948	—	—	—	—	—
1	1949	6,02	0,68	−0,32	−0,32	−1,03
2	1950	6,91	0,78	−0,22	−0,54	−1,74
3	1951	6,54	0,74	−0,26	−0,80	−2,51
4	1952	16,1	1,82	0,82	+0,02	0,0
5	1953	12,7	1,44	0,44	+0,46	1,48
6	1954	9,63	1,09	0,09	0,55	1,77
7	1955	10,2	1,16	0,16	0,71	2,28
8	1956	9,32	1,06	0,06	0,77	2,48
9	1957	10,4	1,18	0,18	0,95	3,06
10	1958	10,6	1,21	0,21	1,16	3,74
11	1959	7,35	0,83	−0,17	0,99	3,20
12	1960	4,80	0,54	−0,46	0,53	1,71
13	1961	8,83	1,00	0,0	0,53	1,71
14	1962	8,52	0,96	−0,04	0,49	1,58
15	1963	6,36	0,72	−0,28	0,21	0,68
16	1965	9,20	1,05	0,05	+0,26	−0,35
17	1964	5,58	0,63	−0,37	−0,11	−0,52
18	1966	9,81	1,11	0,11	0,0	0
	Сумма	158,87	18	0		

$M_0 = 8{,}83$

Таблица 3.11

Вычисление ординат разностной интегральной кривой модульных коэффициентов годового стока р. Неи — д. Буслаево ($F = 5700$ км²) за период наблюдений 1934—1966 гг., $C_v = 0{,}29$

№ п/п	Год	M л/сек с 1 км²	$k = \frac{M}{M_0}$	$k-1$	$\sum_1^t (k-1)$	$\frac{\sum_1^t (k-1)}{C_v}$
0	1933	—	—	—	−0	0
1	1934	6,75	0,84	−0,16	−0,16	−0,55
2	1935	7,86	0,99	−0,01	−0,17	−0,59
3	1936	8,21	1,03	0,03	−0,14	−0,48
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
31	1964	5,47	0,69	−0,31	−0,33	−1,14
32	1965	8,23	1,03	0,03	−0,30	−1,03
33	1966	10,4	1,30	0,30	0,00	0,0
	Сумма	263,1	33	0		

$M_0 = 7{,}96$

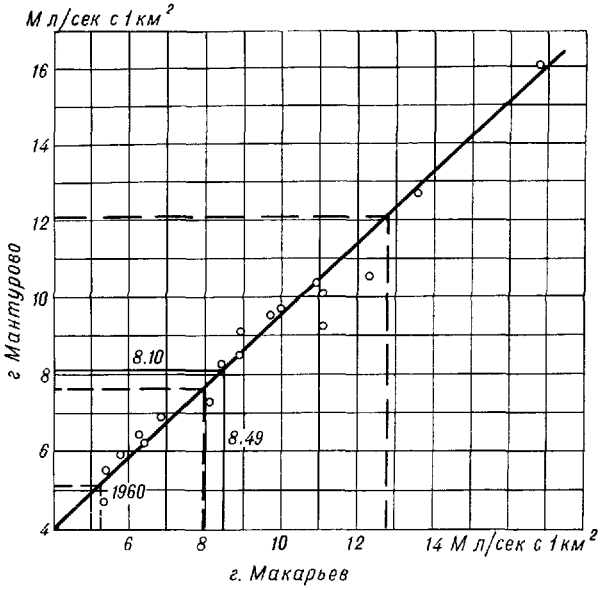


Рис. 3.8. График связи годовых модулей стока р. Унжи у г. Макарьева и р. Унжи у г. Мантурово ($r=0{,}98$).

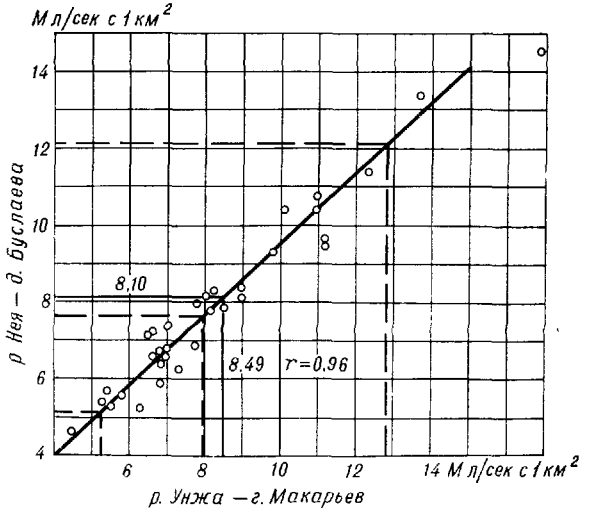


Рис. 3.9. График связи годовых модулей стока р. Унжи у г. Макарьева и р. Неи у д. Буслаево.

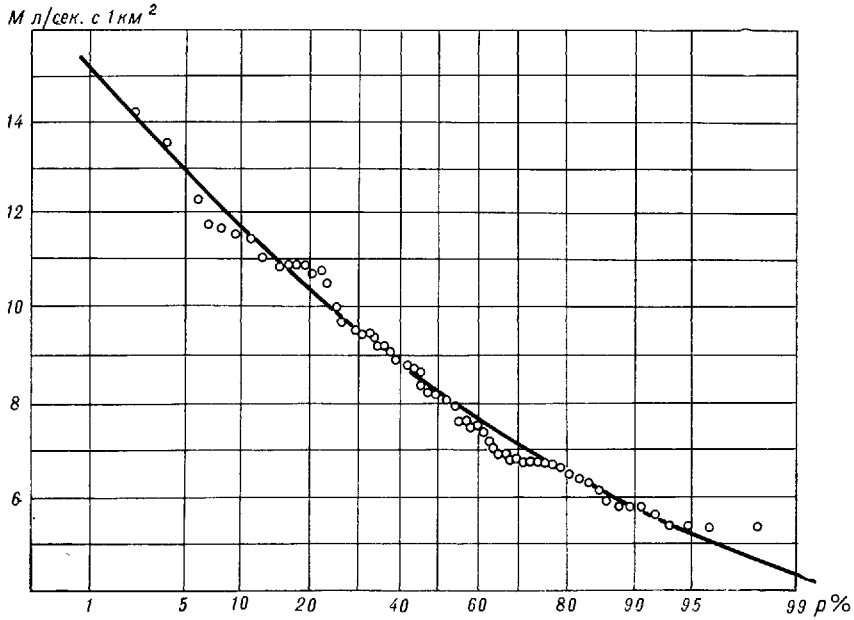


Рис. 3.10. Кривые обеспеченности годовых модулей стока р. Унжи у г. Макарьева.

n=71, $M_{ср}$=8,49 *л/сек* с 1 *км*², C_v=0,28, C_s=3C_v.

Решим поставленную задачу аналитически, применив способ коэффициентов или отношений, так как связи годовых модулей приводимых пунктов с опорным пунктом в обоих случаях прямолинейные и проходят через начало координат. Для этого воспользуемся формулой (3.14′), согласно которой получим:

1) норму годового стока р. Унжи у г. Мантурово

$$M_0 = \frac{M_{ср}}{k_a} = \frac{8{,}83}{1{,}09} = 8{,}10 \text{ } л/сек \text{ с } 1 \text{ } км^2,$$

2.) норму годового стока р. Неи у д. Буслаево

$$M_0 = \frac{M_{ср}}{k_a} = \frac{7{,}96}{0{,}97} = 8{,}20 \text{ } л/сек \text{ с } 1 \text{ } км^2.$$

Приведение средней величины короткого ряда к многолетнему периоду по уравнению регрессии [формула (3.16)] дает следующие результаты:

1) норма годового стока р. Унжи у г. Мантурово

$$M_0 = M_{ср} + r\frac{\sigma_M}{\sigma_{M_a}}(M_{0\,a} - M_{ср\,a}) = 8{,}83 + 0{,}98\cdot\frac{7{,}5}{3{,}3}(8{,}49 - 9{,}21) =$$
$$= 8{,}83 - 1{,}60 = 7{,}23 \text{ } л/сек \text{ с } 1 \text{ } км^2;$$

2) норма годового стока р. Неи у д. Буслаево

$$M_0 = 7{,}96 + 0{,}96\frac{5{,}0}{3{,}3}(8{,}49 - 8{,}27) = 8{,}28 \text{ } л/сек \text{ с } 1 \text{ } км^2.$$

Воспользуемся также графоаналитическим способом приведения средних величин годового стока при ограниченных рядах наблюдений по р Унже у г Мантурова и р Неи у д Буслаево к многолетней норме (Графоаналитический способ определения параметров кривых обеспеченности и приведения их к многолетним значениям см. в гл 4)

С этой целью для опорного пункта реки аналога р Унжи у г Макарьева построена кривая обеспеченности годовых модулей стока (см рис 3 10) С этой кривой снимаем ординаты-модули годового стока обеспеченностью 5, 50 и 95% Пользуясь графиками связи годовых модулей стока (см рис 3 8 и 3 9), снимаем модули 5, 50 и 95% ной обеспеченности рек Унжи у г Мантурова и Неи у д Буслаево В обоих створах эти ординаты оказались одинаковыми и равными 12,1, 7,60 и 5,10 *л/сек* с 1 *км*^{2} По формуле (4 9) определяем коэффициент скошенности

$$S = \frac{12{,}1 + 5{,}10 - 2 \cdot 7{,}60}{12{,}1 - 5{,}10} = \frac{2{,}00}{7{,}00} = 0{,}29.$$

По табл 4 8 устанавливаем значение коэффициента асимметрии $C_s = 1{,}0$, соответствующее вычисленному S

Затем устанавливаем среднее квадратическое отклонение и норму годового стока по формулам (4 10) и (4 11)

$$\sigma = \frac{M_{5\%} - M_{95\%}}{\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}}$$

и

$$M_0 = M_{50\%} - \sigma\Phi_{50\%},$$

где $\Phi_{5\%}$, $\Phi_{50\%}$ и $\Phi_{95\%}$ — относительные отклонения ординат биномиальной кривой обеспеченности от середины (единицы) при C_v, равном единице, и C_s, равном единице, установленные также по табл 4 8 и соответственно равные 1,88, —0,16 и —1,32 Тогда

$$\sigma = \frac{12{,}1 - 5{,}10}{1{,}88 + 1{,}32} = 2{,}19,$$

$$M_0 = 7{,}60 + 2{,}19 \cdot 0{,}16 = 7{,}95 \text{ } л/сек \text{ с } 1 \text{ } км^2,$$

$$C_v = \frac{2{,}19}{7{,}95} = 0{,}28.$$

Следовательно, норма годового стока р Унжи у г Мантурова и р Неи у д Буслаево, приведенная к многолетнему периоду графоаналитическим способом, равна 7,95 *л/сек* с 1 *км*^{2}

Результаты приведения к многолетней норме, выполненные четырьмя способами, приводятся в табл 3 12

Таблица 3.12

Река — пункт	Число лет наблюдений	$M_{ср}$ наблюденный, *л/сек* с 1 *км*^{2}	Установленные значения нормы *М л/сек* с 1 *км*^{2}			
			по графику связи	способом коэффициентов	по уравнению регрессии	графоаналитическим способом
Унжа — г Мантурово	18	8,83	8,10	8,10	7,23	7,95
Нея — д Буслаево . . .	33	7,96	8,10	8,20	8,28	7,95

Из таблицы видно, что для р. Неи все способы проведения дают практически одинаковые результаты, близкие к средней величине годового стока за период наблюдений, водность которого отличается от водности многолетнего периода (71 год) всего лишь на 3%. Для р. Уижи у г. Мантурова три способа дают близкие результаты, а по уравнению регрессии получено заниженное значение нормы. Объясняется это тем, что многолетняя водность р. Уижи меньше водности за 18-летний период наблюдений у г. Мантурова на 9% (8,49 и 9,21 *л/сек* с 1 *км*²). Эта существенная разница входит сомножителем во второе слагаемое уравнения регрессии.

Предпочтение, как указывалось выше, отдается способу приведения к многолетней норме по графикам связи годовых модулей стока, которые в данном случае вполне удовлетворяют предъявленным к ним требованиям. Поэтому в качестве расчетной нормы по рассматриваемым створам принимаем M_0=8,10 *л/сек* с 1 *км*². Средняя квадратическая ошибка ее 5,6%.

Пример 3.5. Рассмотренные выше два примера приведения к многолетней норме относятся к рекам зоны достаточного увлажнения с незначительным колебанием годового стока и сравнительно большими рядами непосредственных наблюдений.

Теперь же рассмотрим пример для Актюбинской области, где колебания годового стока большие и коэффициенты вариации составляют 0,6—1,00.

Определим многолетнюю норму годового стока р. Эмбы в створе аула Аралтобе, где имеются наблюдения за 12 лет.

Все материалы для этого примера заимствуем из справочника «Ресурсы поверхностных вод СССР».

Общая площадь водосбора р. Эмбы в створе аула Аралтобе равна 38 100 *км*², из них действующая 31 200 *км*². Наблюдения над стоком производились в период 1951—1962 гг. Средняя величина годового стока за эти 12 лет наблюдений равна 15,0 *м*³/*сек*, что соответствует модулю стока, отнесенному к общей площади водосбора 0,39 *л/сек* с 1 *км*². Период 1951—1962 гг. является маловодным (см. рис. 3.11) с коэффициентом водности порядка 0,85. Следовательно, необходимо среднюю величину годового стока за период непосредственных наблюдений привести к многолетней норме годового стока по опорному пункту-аналогу.

В пределах Актюбинской области наиболее продолжительные наблюдения над стоком имеются на р. Илеке у г. Актюбинска и р. Темире у пос. Ленинского и составляют всего лишь 21 год. В условиях большой изменчивости годового стока такая продолжительность наблюдений явно недостаточна для суждения о величине нормы стока. Поэтому возникает необходимость в оценке водности этих периодов и приведения средних величин стока за время наблюдений в указанных пунктах к многолетней норме.

Наблюдения на р. Темире у пос. Ленинского производились с частыми перерывами (1933—1937, 1940—1941, 1947—1949, 1951—1955, 1957—1962 гг.), что не позволяет оценить водность этого периода в многолетней перспективе. Поэтому в качестве основного опорного створа в данном районе может быть принят створ у г. Актюбинска на р. Илеке, где наблюдения производились с меньшими перерывами, в 1940—1942, 1944, 1946—1962 гг.

Средняя величина годового стока р. Илека у г. Актюбинска за указанные годы (21 год) составляет 21,1 *м*³/*сек*, что при общей площади водосбора 11 000 *км*² соответствует модулю стока 1,92 *л/сек* с 1 *км*². Коэффициент вариации этого ряда C_v=0,72. Средняя квадратическая ошибка $\sigma_n = \pm 16\%$, что более чем в три раза превышает допустимую ошибку. Поэтому необходимо оценить водность периода непосредственных наблюдений на р. Илеке у г. Актюбинска, который принят в качестве опорного пункта в Актюбинской области, и привести среднюю величину годового стока за этот период к многолетней норме по рекам соседних районов с более длительными наблюдениями.

В качестве возможных аналогов для р. Илека у г. Актюбинска взяты реки соседних районов той же засушливой зоны с более длинными рядами

наблюдений: р. Большой Узень — г. Новоузенск (49 лет), р. Урал — с. Кушум (40 лет) и р. Тобол — г. Ялуторовск (70 лет).

Для этих трех рек и р. Илека у г. Актюбинска за период 1940—1961 гг. построены совмещенные разностные интегральные кривые модульных коэффи-

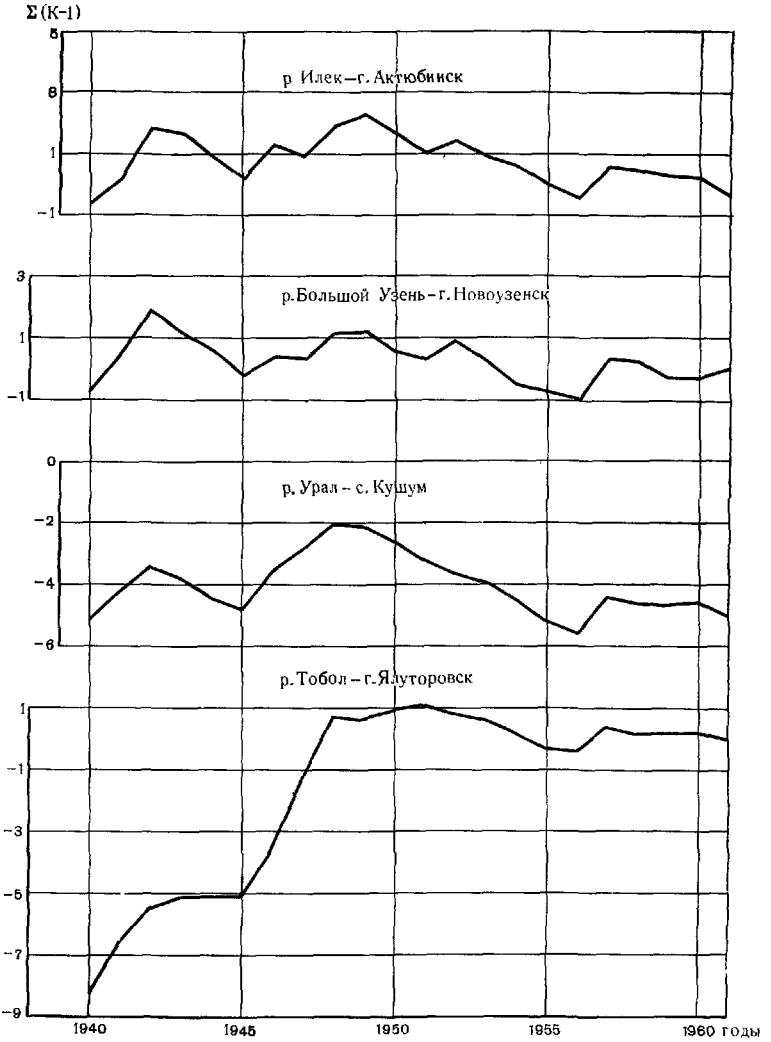


Рис. 3.11. Разностные интегральные кривые модульных коэффициентов годового стока.

циентов годового стока, ординаты которых вычислены по отклонениям от нормы (рис. 3.11). Норма годового стока рек Большого Узеня и Урала уточнена и приведена к многолетней, а р. Илека установлена по связи с этими реками.

Из рис. 3.11 видно, что колебания годового стока рек Илека, Большого Узеня и Урала достаточно синхронны. Кривая для р. Тобола свидетельствует о несогласованности колебания годового стока в этом пункте с колебаниями годового стока других рек. Объясняется это, по-видимому, тем, что формирование стока р. Тобола и трех других рек обусловлено влагоносными массами воздуха различного происхождения. Следовательно, аналогами для р. Илека у г. Актюбинска могут быть р. Большой Узень — г. Новоузенск и р Урал — с. Кушум. Это подтверждается достаточно тесной связью годовых модулей стока р Илека у г. Актюбинска и рек-аналогов, которые приняты в качестве опорных пунктов (рис. 3.12). Коэффициенты корреляции этих связей составляют 0,87.

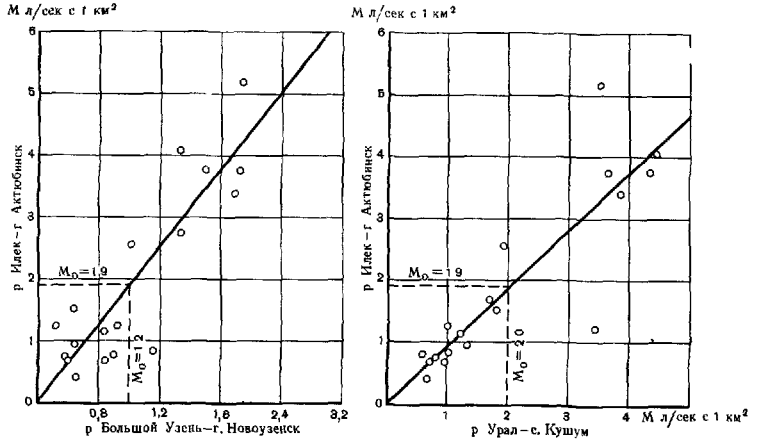


Рис. 3.12. **График связи годовых модулей стока** р. Илека у г. Актюбинска с опорными пунктами.

При норме стока р. Большой Узень — г. Новоузенск 1,2 *л/сек* с 1 *км²* и р. Урал — с. Кушум 2,0 *л/сек* с 1 *км²* по графикам связи (рис. 3.12) непосредственно установлена норма годового стока р. Илек — г. Актюбинск. В обоих случаях она оказалась равной 1,90 *л/сек* с 1 *км²*.

Таким образом, средняя величина годового стока за период наблюдений 21 год, равная 1,92 *л/сек* с 1 *км²*, практически совпадает с его многолетней нормой, установленной по опорным пунктам. Точно так же среднее значение годового стока на реках-аналогах (р. Большой Узень и р. Урал) за период одновременных наблюдений с р. Илеком у г. Актюбинска близко к многолетней норме, что видно из табл 3.13.

Таблица 3.13

Отношение средних значений стока за период наблюдений к норме стока

Река — пункт	Модуль стока, *л/сек* с 1 *км²*		Отношение
	среднее за период 1940—42, 1944, 1946—62 гг.	норма	
Илек — г. Актюбинск . .	1,92	1,90	1,01
Б. Узень — г Новоузенск	1,28	1,20	1,06
Урал — с. Кушум . . .	2,01	2,0	1,00
Тобол — г. Ялуторовск	0,68	0,50	1,36

Средняя квадратическая ошибка нормы годового стока р. Илека у г. Актюбинска, приведенной к многолетнему периоду, зависит от ошибки нормы р. Большого Узеня у г. Новоузенска и ошибки, обусловленной рассеянием

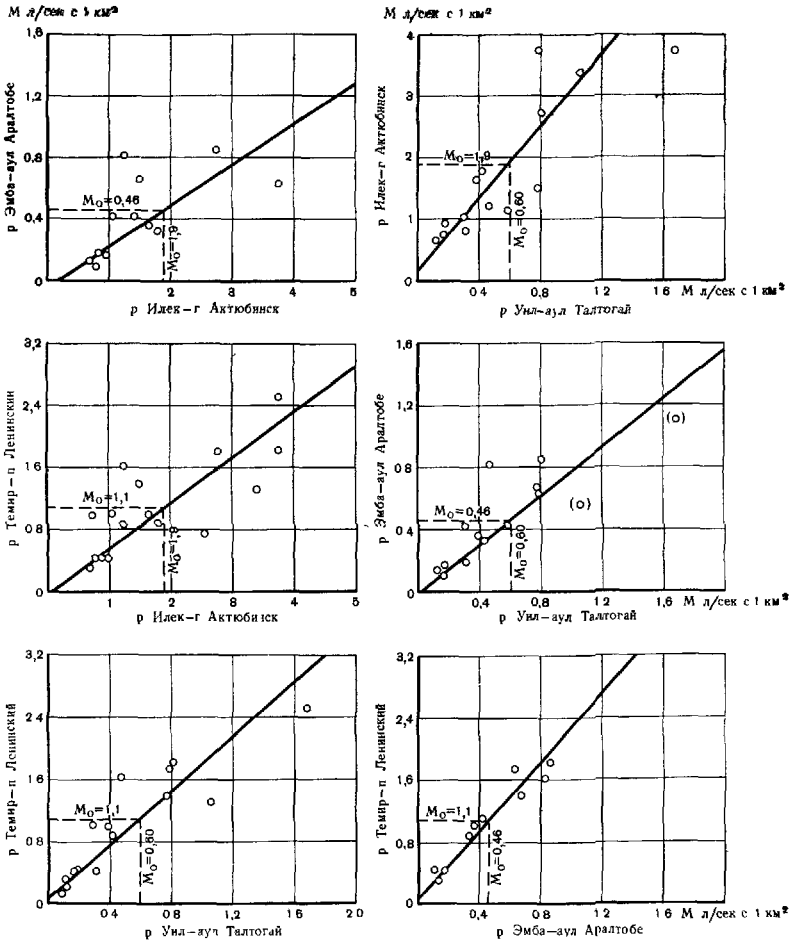


Рис. 3.13. Графики связи годовых модулей стока р. Эмбы у аула Аралтобе и рек Илека у г. Актюбинска и Темира у п. Ленинского.

точек на графике связи годовых модулей стока в этих пунктах (см рис. 3.12). Определяется она по формуле (3.10)

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2},$$

где σ_1 — ошибка нормы стока р. Б. Узеня у г. Новоузенска; σ_2 — ошибка корреляции (связи) стока за период одновременных наблюдений.

Для р Большого Узеня у г Новоузенска за $N_1=49$ лет наблюдений $C_v=0{,}74$, отсюда по формуле (3 5)

$$\sigma_1=\frac{100\cdot 0{,}74}{\sqrt{49}}=\frac{74}{7}=10{,}6\%$$

Для р Илека у г Актюбинска имеем $n_2=21$ год и $C_v=0{,}72$ Коэффициент корреляции связи годовых модулей стока р Большого Узеня у г Новоузенска и р Илека у г Актюбинска $r=0{,}87$ Отсюда по формуле (3 10) имеем

$$\sigma_2=\frac{100\cdot 0{,}72\sqrt{1-0{,}87^2}}{\sqrt{21}}=\frac{72\cdot 0{,}495}{4{,}58}=7{,}75\%.$$

Средняя квадратическая ошибка нормы стока р. Илека у г Актюбинска, приведенной к 49-летнему ряду по р Большому Узеню у г Новоузенска, равна

$$\sigma=\sqrt{10{,}6^2+7{,}75^2}=\sqrt{172}=13{,}1\%.$$

Величина этой ошибки по связи с р Уралом у с Кушума равняется 13,4%

Приведенная величина годового стока р Илека у г Актюбинска также имеет ошибку, превышающую допустимую величину Объясняется она в первую очередь большой изменчивостью годового стока р Большого Узеня и р Илека В тех случаях, когда в данном районе или смежных с ним районах нет опорного пункта-аналога с многолетними наблюдениями для приведения средней величины ограниченного ряда к норме с допустимой точностью, в качестве расчетной величины принимается величина годового стока, содержащая меньшую погрешность, и указывается ее относительная средняя квадратическая ошибка

Таким образом, в качестве расчетной нормы годового стока р Илека у г Актюбинска принимается $M_0=1{,}90$ *л/сек* с 1 *км*^{2} Ее средняя квадратическая ошибка $\sigma=\pm 13\%$

Река Илек — г Актюбинск принимается в качестве реки-аналога для р Эмбы — аул Аралтобе

За период параллельных наблюдении в обоих створах (12 лет) построен график связи годовых модулей стока (см рис 3 13) Здесь же приведена связь годовых модулей стока р Эмбы — аул Аралтобе и р Темир — пос Ленинский, построенная по 10 годам одновременных наблюдении На первом графике значительно отклоняется точка 1954 г, сток которого подсчитан приближенно На втором графике связь более тесная Коэффициенты корреляции этих связей соответственно равны 0,70 и 0,87

С каждого графика (см рис 3 13) снята норма годового стока р Эмбы в створе аула Аралтобе, которая в обоих случаях равна 0,46 *л/сек* с 1 *км*^{2}

Заметим, что норма стока р Темира у пос Ленинского, принятая в справочнике 1,10 *л/сек* с 1 *км*^{2}, установлена по связи с р Уил — аул Талтогай, норма стока которой в свою очередь установлена по связи с р Илеком у г Актюбинска

Общая ошибка нормы стока р Эмбы в створе аула Аралтобе с учетом коэффициента корреляции связи с р Илеком у г Актюбинска определяется по формуле (3 12)

$$\sigma=\sqrt{\sigma_1^2+\sigma_2^2+\sigma_3^2}=\sqrt{10{,}6^2+7{,}75^2+13{,}2^2}=18\%,$$

где

$$\sigma_3=\frac{100\cdot 0{,}65\sqrt{1-0{,}70^2}}{\sqrt{12}}=13{,}2\%.$$

С учетом двух дополнительных связей, которые использовались при установлении нормы стока р. Темира у пос. Ленинского, ошибка нормы стока р. Эмбы в створе аула Аралтобе близка к 20%.

Таким образом, расчетная норма годового стока р. Эмбы в створе аула Аралтобе принимается равной 0,46 *л/сек* с 1 *км*^{2}. Ее средняя квадратическая ошибка равна ±18%.

§ 3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМЫ ГОДОВОГО СТОКА ПРИ ОТСУТСТВИИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

На территории Советского Союза насчитывается более 2 870 000 рек, ручьев и временных водотоков длиной более 0,5—1,0 *км*, сток которых используется или может быть использован для водохозяйственных целей. Створов наблюдений над стоком рек имеется всего лишь около 6000. На многих больших реках размещается несколько створов.

Средняя густота сети пунктов учета стока рек по всей стране составляет 1 пункт на 3900 *км*^{2}. Поэтому в условиях обширной территории нашей страны для многих неисследованных рек средняя величина годового стока и другие его характеристики рассчитываются косвенными методами. Кроме того, косвенные методы используются и при решении таких же задач по исследованным рекам, когда створы сооружений не совпадают со створами наблюдений.

В основе косвенных методов заложены глубокие исследования факторов формирования годового стока, территориальные обобщения и географическая интерполяция его характеристик.

Косвенные методы определения характеристик годового стока представлены рядом приемов, которые обеспечивают быстрое решение практических вопросов.

Обычно косвенные методы определения нормы годового стока и его характеристик включают метод картографического изображения и географической интерполяции, метод гидрологической аналогии и метод суммарных коэффициентов или параметров.

Указания (СН 371-67) предусматривают определение нормы годового стока при отсутствии данных наблюдений путем территориальной интерполяции ее значений, полученных по материалам наблюдений на других реках данного района. Рекомендуются два приема определения нормы годового стока интерполяцией: 1) расчет нормы по карте изолиний среднего многолетнего стока; 2) интерполяция величины стока между опорными пунктами с установленными для них значениями нормы.

По существу, второй прием является детализацией первого и сводится к уточнению местных особенностей распределения нормы годового стока в пределах относительно небольшого географического района. Он также позволяет более полно использовать данные о норме стока, появившиеся ко времени расчета.

по сравнению с материалами, принятыми при построении карт изолиний годового стока для значительных территорий.

Норма стока неисследованных горных рек определяется по районным зависимостям изменения стока с высотой местности.

Ниже рассмотрены основные способы определения нормы годового стока рек при отсутствии данных наблюдений.

Определение нормы стока по карте. Этот способ является самым распространенным и обеспечивает наиболее быстрое решение задачи. Основной картой, рекомендуемой для определения нормы стока рек при отсутствии гидрометрических наблюдений, является карта среднего годового стока рек СССР (в *л/сек* с 1 $км^2$) в масштабе 1 : 5 000 000 1961 г., составленная К. П. Воскресенским (ГГИ). Эта карта в масштабе 1 : 10 000 000 приводится в приложении XXV. Для учебных целей могут быть использованы также и более детальные карты стока, изданные Гидрометслужбой для отдельных районов.

Прежде чем перейти к карте изолиний, вспомним методы ее построения, точность и возможности применения для различных по размерам рек в разных географических зонах.

Известно, что построение карт изолиний среднего годового стока основано на допущении плавного его изменения по территории соответственно распределению основных климатических факторов — нормы осадков и испарения. Это следует из уравнения водного баланса речных водосборов, представляющих замкнутые системы, согласно которому средний многолетний сток равен разности между средними многолетними осадками и испарением.

Для построения карт использованы материалы наблюдений таких рек, русла которых полностью дренируют подземные воды и водосборы представляют собой замкнутые системы. Норма стока этих рек соответствует климатической норме и подчиняется закону зонального распределения.

Не использованы для этой цели материалы наблюдений на малых реках и водотоках, средний годовой сток которых в значительной мере определяется азональными факторами и зависит в основном от площади водосборов (рис. 3.14, 3.15). В зонах избыточного и достаточного увлажнения годовой сток таких водотоков меньше зональной нормы стока больших замкнутых бассейнов на величину недостающего грунтового питания благодаря небольшому врезу русел относительно подземных водоносных горизонтов.

В зонах недостаточного увлажнения, где глубоко залегающие грунтовые воды не дренируются руслами даже больших рек, норма стока малых водотоков выше зональной нормы больших рек в результате меньших потерь на испарение с поверхности водосборов и речных плесов, а также за счет повышенной

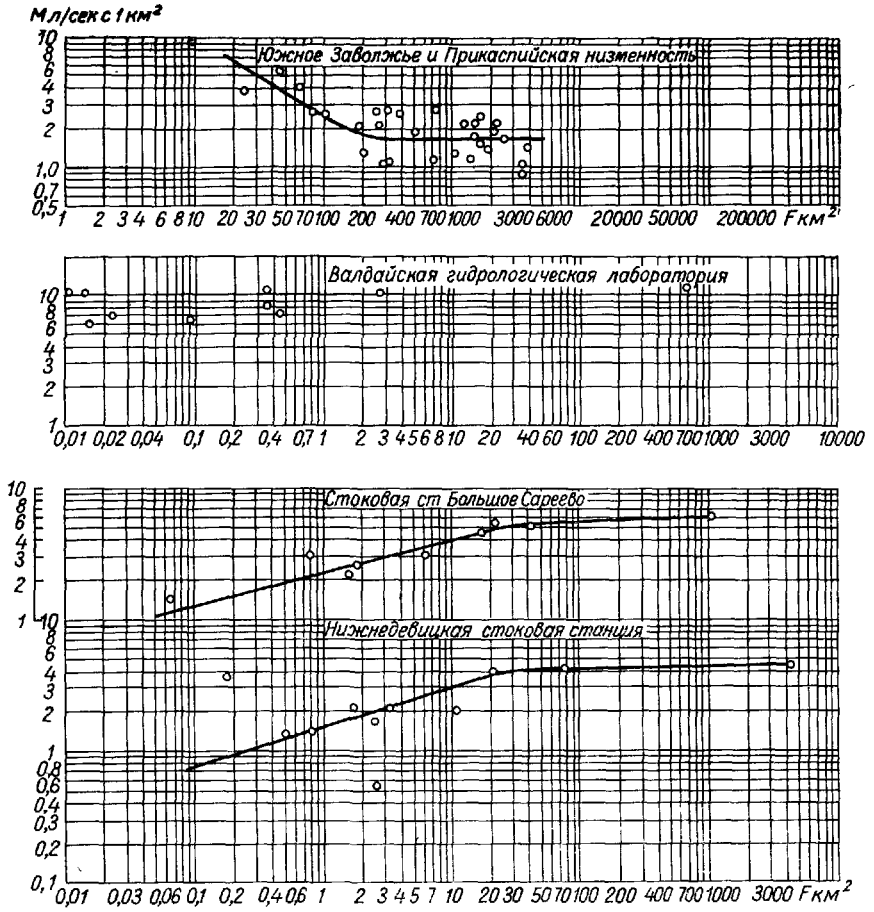


Рис. 3.14. Изменение среднего стока с возрастанием площади водосбора в разных зонах Европейской территории СССР по К. П. Воскресенскому.

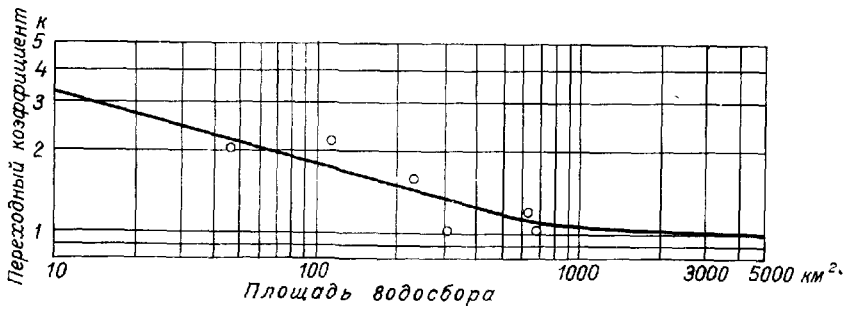


Рис. 3.15. Изменение среднего стока с возрастанием площади водосбора в Северном Казахстане (Кустанайская обл.) при средних высотах водосбора 170—371 *м*.

величины снегозапасов благодаря большей высоте и расчлененности их водосборов.

Величина предельно малых водосборов установлена для каждой географической зоны путем сопоставления стока водотоков разных размеров. Так, в зонах избыточного и достаточного увлажнения, где преобладает влияние на годовой сток климатических факторов, она составляет около 100 $км^2$ и менее. В засушливых районах, где абсолютная величина годового стока мала и на его величину оказывают значительное влияние местные факторы, размеры предельно малых площадей достигают 3000 $км^2$.

Исключены также материалы наблюдений и по очень большим рекам, с площадями водосборов более 50 000 $км^2$, протекающими в нескольких географических зонах. Например, р. Волга протекает по лесной, лесостепной, степной и частично полупустынной зонам. Материалы наблюдений по большим рекам использованы для контроля правильности составления карты.

При составлении карты величина нормы стока каждого бассейна отнесена к точке геометрического центра водосбора, так как модуль стока в гидрометрическом створе представляет собой осредненную величину стока со всего речного бассейна. Геометрический центр водосбора определяется приближенно (на глаз), но это не приводит к существенным погрешностям, так как сток меняется по территории достаточно плавно. Изолинии проведены путем прямолинейной интерполяции между точками. В горных районах интерполяция производилась с учетом рельефа.

Пользоваться этими картами для определения нормы годового стока неизученных рек нужно с учетом метода их построения и размеров водосборов, по материалам которых они составлены. Непосредственно по картам среднего годового стока рек СССР (приложение XXV) можно получить зональную величину нормы годового стока рек с площадями водосборов до 50 000 $км^2$, а при отсутствии резких изменений в рельефе и климатических условиях — и для бóльших площадей, бассейны которых принадлежат к типу замкнутых речных систем.

Оценивая точность расчета нормы годового стока по карте изолиний среднего годового стока рек СССР (табл. 3.14), необходимо учитывать, что она зависит от ошибки исходных гидрометрических данных, продолжительности использованных рядов наблюдений и коэффициентов вариации годового стока, густоты гидрологической сети, плавности рельефа в данном районе и географического распределения стока по территории, а также от ошибки, допускаемой при определении условных центров водосборов как при построении карты, так и при пользовании ею. Основная ошибка зависит от продолжительности наблюдений на опорных пунктах и изменчивости годового стока. В целом по территории суммарная ошибка колеблется в пределах 8—25%.

Таблица 3.14

Точность расчета нормы годового стока по карте изолиний ГГИ

Район	Коэффициент вариации годового стока C_v	Средняя ошибка $\sigma_{ср}$ %
Северный	0,15—0,20	8
Средние широты . . .	0,40—0,50	10
Южные широты	0,60—0,70	15
Крайний Юг	1,00—1,50	25

Норма годового стока по карте изолиний определяется для центра водосбора неизученной реки. Для этого прежде всего необходимо оконтурить по карте стока, наложив на нее кальку, водосбор до замыкающего створа.

В простых случаях, когда в пределах водосбора проходят одна-две изолинии или водосбор находится между двумя изолиниями, норма устанавливается путем прямолинейной интерполяции между изолиниями. В случае пересечения водосбора несколькими изолиниями (рис. 3.16) средневзвешенная норма годового стока M_0 вычисляется по формуле

$$M_0 = \frac{M_1 f_1 + M_2 f_2 + \ldots + M_n f_n}{F} \quad л/сек \text{ с } 1\ км^2, \qquad (3.17)$$

где $M_1, M_2, \ldots, M_n$ — среднее значение модуля стока между соседними изолиниями, пересекающими водосбор; $f_1, f_2, \ldots, f_n$ — соответствующие площади между изолиниями; F — общая площадь водосбора до расчетного створа.

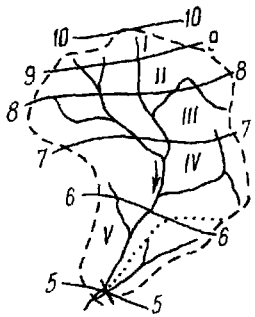


Рис. 3.16. Схема определения нормы годового стока по карте изолиний.

Итак, установив величину среднего многолетнего модуля стока неисследованной реки, можно получить ее норму в виде среднего многолетнего расхода

$$Q_0 = \frac{M_0 F}{1000} \quad м^3/сек. \qquad (3.18)$$

Поправки к карте. Поправки к карте изолиний при определении по ней нормы годового стока неисследованных рек вносятся в тех случаях, когда норма стока их отличается от нормы стока, показанной на карте. К таким рекам относятся малые водотоки, неполностью дренирующие подземные воды и имеющие меньшую норму стока по сравнению с ее зональной величиной, а также малые водотоки зоны недостаточного увлажнения, сток которых повышен вследствие уменьшения его потерь на испарение с поверхности водосборов и речных плесов.

В первом случае поправочные коэффициенты меньше единицы, во втором — больше единицы. Их численные значения зависят от площади водосбора и географической зоны (табл. 3.15, 3.16). Установлены они приближенно с помощью графиков связи модулей стока с площадями водосборов (см рис. 3.14, 3 15) по соотношению $\frac{M_{0F_i}}{M_{0з}}$, в котором M_{0F_i} — норма стока малых водотоков с разной площадью водосборов, а $M_{0з}$ — зональная норма стока. В пределах конкретных районов значения поправочных коэффициентов должны уточняться по материалам наблюдений.

Таблица 3 15

Поправочные коэффициенты к норме стока по карте ГГИ, учитывающие неполное дренирование реками подземных вод

Район	Площадь водосбора, $км^2$						
	10	30	50	100	500	1000	2000
Лесостепные и степные районы							
Европейская часть СССР западная половина . .	0,7	0,85	0,9	0,95	1,00	—	—
восточная половина	0,5	0,60	0,75	0,85	0,90	1,00	
Волыно-Подольская возвышенность	—	0,50	0,55	0,60	0,80	0,90	1,00
Донецкая и Приазовская возвышенности	—	—	—	0,70	0,90	0,95	1,00
Сальские степи и Кумо-Манычская впадина	Поправки не вносятся						
Заволжье	0,25	0,35	0,40	0,45	0,70	0,85	1,00
Казахстан и Западная Сибирь	—	—	0,70	0,80	0,85	0,90	1,00
Минусинская и Тувинская котловины . . .	—	—	0,70	0,80	0,90	0,95	1,00
Забайкалье	—	—	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
Центрально-Якутская низменность	—	—	0,50	0,60	0,80	0,90	1,00

Примечание На границах географических районов значения поправочных коэффициентов определяются интерполяцией

Для районов избыточного увлажнения (арктическая, тундровая и лесная зона), севернее изолинии стока 4 *л/сек* с 1 $км^2$, где грунтовые воды выходят на поверхность или залегают близко к ней, карта ГГИ используется без поправок для всех водотоков с площадями водосборов более 5 $км^2$. Для водотоков с площадями водосборов менее 5 $км^2$ норма стока устанавливается по материалам наблюдений на подобных водотоках.

Таблица 3.16

Поправочные коэффициенты к норме стока по карте ГГИ, учитывающие уменьшение потерь на испарение с поверхности водосборов и речных плесов

Норма стока по карте ГГИ в *л/сек* с 1 *км*²	Площадь водосбора в *км*²								
	10	30	50	100	250	500	1000	2000	3000
Степные и полупустынные районы (Молдавия, юг Украины, Крым, Приазовье, Прикаспийская и Арало-Каспийская низменности, Казахстан, Забайкалье)									
0,5 и более . . .	1,5	1,45	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	—
0,3	2,0	1,9	1,8	1,6	1,45	1,4	1,25	1,1	1,0
0,2	3,0	2,6	2,4	2,1	1,85	1,6	1,4	1,2	1,0
0,1 и менее . . .	5,0	3,7	3,2	2,5	2,1	1,9	1,4	1,3	1,0
Пустынные районы (Арало-Каспийская низменность)									
1. Наклонные глинистые равнины									
0,1 и менее . . .	—	—	3,6	2,9	1,0	—	—	—	—
2. Плоские равнины с такыровидными землями, такырами									
0,1 и менее . . .	2,0	1,8	1,0	—	—	—	—	—	—

Примечание. На границах географических районов значения поправочных коэффициентов определяются интерполяцией.

В зонах переменного увлажнения (лесостепная и степная), расположенных между изолиниями 4—0,5 *л/сек* с 1 *км*², поправочные коэффициенты, учитывающие неполное дренирование подземных вод, колеблются от 1,0 до 0,25 и вводятся для рек с площадями водосборов до 500—2000 *км*².

В зонах недостаточного увлажнения (сухостепная и пустынная), южнее изолинии 0,5 *л/сек* с 1 *км*², поправочные коэффициенты учитывают уменьшение потерь стока с малых водосборов и колеблются от 5,0 до 1,0.

Границы зон на карте (приложение XXV) показаны условными знаками.

Поправки на дополнительные потери стока на испарение с водной поверхности озер, расположенных в пределах водосбора неизученной реки, учитываются по формуле

$$M_1 = M_0(1 - F_0) + \frac{(x_0 - E_0)F_0}{31{,}5}, \qquad (3.19)$$

где M_1 — норма стока озерной реки в *л/сек* с 1 *км*²; M_0 — норма стока, определенная по карте в *л/сек* с 1 *км*²; x_0 — средний многолетний слой осадков в бассейне в *мм*; E_0 — средний многолет-

ний слой испарения с водной поверхности озер в *мм*; F_0 — площадь озер в долях от площади всего водосбора реки.

Для районов с большим распространением озер, где карта стока отражает средние потери стока на испарение с водной поверхности, в формулу (3.19) вместо относительной площади озер рассматриваемого водосбора вводится разность между ней и средней озерностью данного района. Учитываются потери на дополнительное испарение с водной поверхности, если они составляют более 5% нормы стока.

В горных районах на карте показан осредненный климатический сток; фактическую норму годового стока неисследованных горных рек следует определять по локальным зависимостям изменения стока со средней высотой водосбора.

В результате систематизации кривых $M_0=f(H_{ср})$, составленных разными исследователями для различных горных районов Советского Союза, К. П. Воскресенский получил пять обобщенных кривых с различными градиентами стока (рис. 3.17). Перечень рек, данные по которым использованы для составления обобщенных градиентных кривых, приводятся в табл. 3.17. Эти графики могут быть использованы для установления приближенной величины нормы стока.

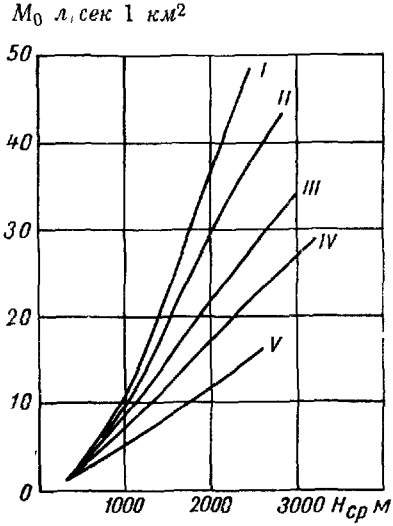


Рис. 3.17. Зависимости $M_0=f(H)$ для горных районов по К. П. Воскресенскому.

I—V — типы горных районов по табл. 3.17.

Возможность использования этих и подобных графиков для практических целей проверяется путем дополнительного нанесения на них новых или уточненных величин нормы стока рек данного района. Дополнительные линии связи $M_0=f(H_{ср})$ проводятся параллельно основной через точки, относящиеся к данной реке или другим близко расположенным рекам, сходным по экспозиции водосборов и другим условиям формирования стока.

Средняя высота бассейна $H_{ср}$ определяется по крупномасштабным картам с помощью формулы (1.6). Допускается определение $H_{ср}$ упрощенным методом с помощью гипсометрической карты, разделенной на равновеликие квадраты. Средняя высота определяется как средняя арифметическая из высот, установленных визуально для отдельных квадратов.

Определение нормы стока по интерполяции. Расчет нормы годового стока неисследованных рек по интерполяции между

Таблица 3.17

Перечень рек, использованных для построения интерполяционных графиков изменения среднего стока с высотой местности в горных районах (рис. 3.17)

№ группы районов	Объединенные группы рек	№ группы районов	Объединенные группы рек
I	Камчатки, Алтая, Норильского района	IV	Джунгарского Алатау, защищенные от влагоносных ветров двумя передовыми хребтами (высотой до 2000 *м*); Средней Азии — Зеравшан. Кашкадарья, Чу, Или, Таласс, реки бассейна оз. Иссык-Куль, северного склона Алтайского хребта
II	Бассейна верхнего течения Енисея, Средней Азии — Ангрен, Сурхандарья, Кафирниган и правые притоки Карадарьи		
III	Северо-Востока СССР, бассейна оз. Байкал, бассейна р. Колымы, Джунгарского Алатау (склонов западной ориентации)	V	Джунгарского Алатау, защищенные от влагоносных ветров гремя передовыми хребтами (высотой до 3500 *м*)

установленными величинами нормы стока в опорных пунктах, как уже отмечалось выше, является детализацией карты изолиний. Для этого на топографическую карту наносятся средние многолетние модули или слои стока в центрах водосборов двух-трех опорных пунктов, расположенных вблизи расчетного створа. Норма стока для расчетного пункта относительно центра водосбора на равнинной территории или при незначительно меняющемся рельефе определяется прямолинейной интерполяцией. При значительно меняющемся рельефе между опорными пунктами изменение стока по территории рекомендуется принимать пропорциональным изменению высоты местности. Влияние местных (азональных) факторов на сток учитывается так же, как при пользовании картой изолиний.

Ошибка нормы стока, установленной интерполяцией, оценивается в зависимости от точности расчета среднего годового стока в опорных пунктах по формуле (3.12).

Определение нормы стока по эмпирическим формулам. Эмпирические формулы широко применялись в начальном периоде развития методов расчета стока при отсутствии непосредственных наблюдений, когда для многих районов отсутствовали карты изолиний или они были слишком схематичными. Они сводятся к решению уравнения водного баланса вида (2.56)

$$y_0 = x_0 - z_0 \ мм,$$

или (3.20)

$$y_0 = x_0 \alpha_0 \ мм, \qquad (3.20)$$

где y_0 — норма годового стока; x_0 — норма осадков для речного бассейна; z_0 — норма испарения с поверхности речного бассейна; α_0 — коэффициент среднего годового стока, представляющий собой отношение $\frac{y_0}{x_0}$.

Норма осадков x_0 для водосбора определяется по материалам наблюдений метеорологических станций (§ 2.4) или по карте изолиний (приложение XXIII), а для определения коэффициента стока α используются эмпирические формулы:

М. А. Великанова—Д. Л. Соколовского

$$\alpha = 1 - \sqrt{\frac{d}{4{,}8}}, \tag{3.21}$$

Б. В. Полякова

$$\alpha = \frac{9}{d^3 + 9}, \tag{3.22}$$

С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля

$$\alpha = \frac{11}{d^3\sqrt{d + 11}}, \tag{3.23}$$

где d — норма дефицита влажности воздуха.

Методы определения нормы годового стока по уравнению водного баланса и связи с метеорологическими элементами имеют ряд недостатков, ограничивающих их применение. Прежде всего эмпирические формулы зависимости стока от метеорологических факторов носят локальный характер, и требуется их уточнение для конкретных районов. Кроме того, основной фактор — норма осадков — определяется не всегда строго. Поэтому эти формулы применяются для приближенных расчетов при слабой гидрологической изученности рассматриваемого района.

Пример 3.6. Определить норму годового стока р. Васюгана у д. Наунак (площадь водосбора 58 300 *км*²) по карте среднего годового стока

Васюган является левобережным притоком Средней Оби. На рис. 3.18 приводится карта бассейна р. Васюгана до створа у д. Наунак с изолиниями нормы годового стока. Изолинии скопированы с карты нормы годового стока, построенной с учетом наблюдений по 1965 г. включительно. По рисунку установлены площади между смежными изолиниями. Затем, пользуясь формулой (3.17), получена норма годового стока

$$M_0 = \frac{15\,750 \cdot 6{,}5 + 11\,950 \cdot 5{,}5 + 18\,700 \cdot 4{,}5 + 11\,900 \cdot 3{,}75}{58\,300} =$$

$$= 5{,}10 \text{ } л/сек \text{ с } 1 \text{ } км^2,$$

соответственно $Q_0 = \frac{MF}{1000} = 297 м^3/сек$.

На р. Васюгане у д. Наунак ведутся наблюдения над стоком с 1957 г. и ряд наблюдений по 1965 г. составляет 9 лет. Средний модуль стока за этот период составляет 5,94 *л/сек* с 1 *км*². Коэффициент водности периода 1957—1965 гг., установленный по створу с. Средний Васюган с 28-летним рядом наблюдений, равен 1,08. Таким образом, модуль годового стока у д. Наунак, приведенный к 28-летнему периоду способом коэффициентов, равен 5,50 *л/сек* с 1 *км*² $\left(M_0 = \frac{5,94}{1,08} = 5,5 \right)$.

В обоих случаях получены близкие результаты.

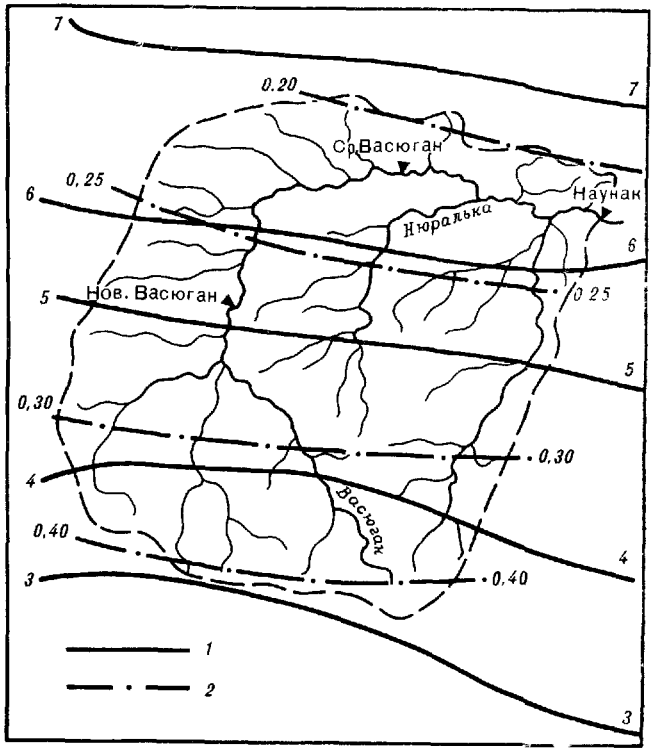


Рис. 3.18. Схема бассейна р. Васюгана.

1 — модули годового стока в *л/сек* с 1 *км*², *2* — коэффициент вариации годового стока.

Пример 3.7. Определить норму годового стока в створе сооружения водохранилища в верховьях р. Суры (площадь водосбора 112 *км*²). Наблюдений в этом створе нет. Поставленную задачу решим с помощью карты среднего годового стока (приложение XXV).

По интерполяции между изолиниями 4 и 2 *л/сек* с 1 *км*² относительно центра бассейна получаем для расчетного створа $M_0 = 2,7$ *л/сек* с 1 *км*².

Верховье р. Суры находится в восточной половине лесостепной зоны Европейской территории СССР, в которой малые водотоки неполностью дренируют подземные воды.

Согласно табл. 3.15, вводится поправочный коэффициент к норме, снятой с карты, равный 0,85.

Таким образом, расчетная норма годового стока в створе сооружения водохранилища в верховьях р. Суры равна

$$M_0 = 0{,}85 \cdot 2{,}70 = 2{,}30 \text{ } л/сек \text{ с } 1 \text{ } км^2,$$

что соответствует расходу $Q_0 = 0{,}27$ $м^3/сек$, слою стока $y_0 = 72$ $мм$ и объему годового стока $W_0 = 8{,}5 \cdot 10^6$ $м^3$.

Пример 3.8. Определить норму годового стока балки Безымянной, впадающей в р. Нуру у г. Караганды. Площадь водосбора балки Безымянной в створе сооружения заводского пруда-водохранилища составляет 29 $км^2$.

По карте среднего годового стока (приложение XXV) снимаем для района г. Караганды $M_0 = 0{,}5$ $л/сек$ с 1 $км^2$. Район г. Караганды относится к степным районам Казахстана, в которых для малых водотоков вводятся поправочные коэффициенты к норме стока по карте ГГИ $k > 1{,}0$, которыми учитывается уменьшение потерь на испарение с поверхности водосбора и речных плесов. При норме стока 0,5 $л/сек$ с 1 $км^2$ и площади водосбора 29 $км^2$ по табл. 3.16 поправочный коэффициент $k = 1{,}45$.

Следовательно, расчетная норма годового стока для балки Безымянной равна

$$M_0 = 1{,}45 \cdot 0{,}5 = 0{,}725 \text{ } л/сек \text{ с } 1 \text{ } км^2,$$

что соответствует расходу $Q_0 = 0{,}725 \cdot 29 = 21{,}0$ $л/сек$, слою $y_0 = 0{,}725 \cdot 31{,}5 = 22{,}8$ $мм$ и объему годового стока $W = 21 \cdot 31{,}5 \cdot 10^3 = 661\,500$ $м^3$.

Заметим, что норму годового стока малых водотоков засушливых и полузасушливых районов, где годовой сток формируется в основном за счет весеннего половодья, можно также установить по карте среднего слоя стока половодья (приложение XXXI). Например, слой стока половодья малых водотоков, приведенных в примерах 3.7 и 3.8, по приложению XXXI равен 80 и 20 $мм$. По карте среднего годового стока (приложение XXV) с учетом поправочных коэффициентов слой годового стока равен 72 и 23 $мм$.

Пример 3.9. Установить численные значения поправочных коэффициентов к карте изолиний среднего многолетнего стока для определения по ней нормы стока малых водотоков южных районов лесной зоны и лесостепной зоны ЕТС и засушливых районов Южного Заволжья и Прикаспийской низменности.

Для этой цели воспользуемся графиками изменения среднего годового стока с возрастанием площади водосбора (см. рис. 3.15), построенными по материалам наблюдений стоковых станций Большое Сареево (Московская обл.) и Нижнедевицкой (Воронежская обл.) и наблюдениям на малых реках Южного Заволжья и Прикаспийской низменности.

Графики связи $M_0 = f(F)$ показывают, что с возрастанием площади водосборов годовой сток малых водотоков лесной и лесостепной зон увеличивается, а в засушливом районе — уменьшается.

Предельные площади, при которых норма стока достигает зональной величины, могут быть приняты по графикам стоковых станций равными 50 $км^2$, а по рекам Южного Заволжья и Прикаспийской низменности — 300 $км^2$. Значения модулей стока, соответствующие этим площадям, принимаем равными 5,5; 4,1 и 1,8 $л/сек$ с 1 $км^2$.

Поправочные коэффициенты вычисляем по соотношению $k_{F_i} = \dfrac{M_{0F_i}}{M_{0\,з}}$

где M_{0F_i} — норма стока малого водотока с площадью водосбора F_i, снятая с графика $M_0 = f(F)$; $M_{0\,з}$ — зональная норма стока.

Так, например, по графику $M_0 = f(F)$ Нижнедевицкой стоковой станции для площади $F = 10$ $км^2$ снимаем $M_0 = 2{,}9$ $л/сек$ с 1 $км^2$ и получаем для этой площади поправочный коэффициент $k = \dfrac{2{,}9}{4{,}1} = 0{,}71$.

Такие же вычисления сделаны и для других площадей водосборов по трем графикам связи $M_0=f(F)$; установленные значения поправочных коэффициентов приводятся в табл. 3.18 и 3.19.

Таблица 3.18

Поправочные коэффициенты к стоку малых водотоков в южных районах лесной и в лесостепной зонах ЕТС

	Площадь водосбора, $км^2$						
	0,1	1	5	10	20	40	50
Стоковая станция Большое Сареево	0,22	0,40	0,57	0,71	0,87	0,94	1,00
Стоковая станция Нижнедевицкая	0,18	0,36	0,57	0,71	0,88	0,95	1,00
Осредненные значения	0,20	0,40	0,60	0,70	0,88	0,95	1,00

Таблица 3.19

Поправочные коэффициенты к стоку малых водотоков Южного Заволжья и Прикаспийской низменности

F $км^2$	20	50	100	150	200	300
k_F	3,60	2,00	1,40	1,20	1,05	1,00

Следует заметить, что установленные поправочные коэффициенты имеют приближенные значения, особенно для района Южного Заволжья и Прикаспийской низменности, и должны уточняться по мере накопления материалов наблюдений.

Глава 4

РАСЧЕТ ЗНАЧЕНИЙ ГОДОВОГО СТОКА РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ

Выше рассмотрены способы определения нормы годового стока как основной и устойчивой характеристики водных ресурсов реки. Однако для водохозяйственного использования реки недостаточно иметь сведения только о норме стока. Необходимы также данные о величинах стока в маловодные и многоводные годы различной обеспеченности. Например, для гидроэнергетики, водоснабжения и орошения нужно знать сток маловодных лет, что гарантирует от возможных перебоев в потреблении воды. При этом чем выше гарантия, тем меньшая часть общего стока реки используется. В случае проектирования мероприятий по защите от наводнений основной интерес представляет сток в многоводные годы.

Таким образом, общей задачей расчета годового стока является установление средней многолетней величины и возможных его колебаний на весь период службы гидротехнических сооружений.

В инженерных расчетах интересуются относительно короткими промежутками времени, в течение которых климат и определяемые им характеристики стока можно принять устойчивыми. Допущение относительной устойчивости средних характеристик колебания климата и стока на протяжении времени службы гидротехнических сооружений позволяет распространить на будущее те характеристики стока, которые наблюдались в прошлом.

В настоящее время расчеты годового стока для водохозяйственных целей представляются в виде количественной его оценки, отвечающей той или иной заданной обеспеченности или повторяемости (в среднем один раз в N лет) без указания срока наступления расчетных величин. Расчетная обеспеченность назначается обычно исходя из соображений о степени бесперебойности работы сооружения.

Годовой сток различной заданной повторяемости определяется по кривым обеспеченности. С этой целью по материалам

непосредственных наблюдений строятся эмпирические кривые. Сглаживание и экстраполяция эмпирических кривых обеспеченности осуществляется графически или аналитически с использованием некоторых типовых уравнений, соответствующих очертанию эмпирических кривых.

Графическая экстраполяция с предварительным спрямлением кривой на специальной клетчатке возможна при наличии длинного ряда наблюдений, а также если экстраполяция незначительна.

Аналитические сглаживание и экстраполяция (практически только ею и пользуются) применяются при ограниченных рядах наблюдений или при наличии длинного ряда, когда требуется перенести параметры кривой обеспеченности методом аналогии на неизученные реки.

Сглаживание, или выравнивание, эмпирических кривых распределения в данном случае заключается в том, что эмпирическая кривая заменяется такой теоретической кривой, моменты площади которой равны моментам площади эмпирической кривой.

Сопоставление эмпирических кривых обеспеченности годовых, максимальных и минимальных расходов, объемов паводков и других элементов стока с некоторыми теоретическими кривыми обеспеченности, построенными для распределения случайных величин, показали их достаточно хорошее совпадение. Поэтому эти теоретические кривые и используются как техническое средство для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых до заданных пределов обеспеченности.

Наибольшее распространение в практике гидрологических расчетов получила биномиальная асимметричная кривая, или кривая распределения Пирсона III типа.

Широко используются также кривые С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля, которые являются обобщением биномиальной асимметричной кривой. Можно пользоваться и другими теоретическими кривыми при хорошем их соответствии эмпирическим кривым, построенным по наблюденным величинам стока. По теоретическим кривым и устанавливаются расчетные значения стока заданных обеспеченностей.

Для построения теоретической кривой обеспеченности, которая бы соответствовала эмпирической кривой, необходимо по данным наблюдений вычислить значения параметров ее дифференциального уравнения и произвести его интегрирование.

Параметрами теоретических кривых обеспеченности являются:

1) средняя многолетняя величина, или норма, годового стока (Q_0, M_0);

2) коэффициент вариации, или изменчивости, годового стока (C_v);

3) коэффициент асимметрии годового стока (C_s).

Методы и точность определения одного из параметров кривой обеспеченности — нормы годового стока — рассмотрены в § 3.1—3.4, а двух других параметров — C_v и C_s — приводятся ниже.

Значения коэффициентов C_v и C_s годового стока, так же как и его нормы, определяются различными методами, в зависимости от наличия материалов наблюдений.

§ 4.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВАРИАЦИИ И АСИММЕТРИИ ПРИ НАЛИЧИИ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Коэффициент вариации, или изменчивости, годового стока служит мерой оценки колебания годовых величин стока относительно его нормы и численно равен относительному среднему квадратическому отклонению $C_v = \frac{\sigma_x}{\overline{x}}$. Он служит также для сравнения отдельных статистических рядов, например годовых величин стока разных рек, в отношении их изменчивости или рассеяния точек на кривой.

При наличии длительных наблюдений Указаниями СН 371-67 предусматриваются два метода определения C_v в зависимости от изменчивости годового стока.

Если изменчивость годового стока невелика и характеризуется коэффициентом вариации $C_v \leqslant 0{,}50$, рекомендуется следующая формула

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_1^n (k_i - 1)^2}{n}}, \tag{4.1}$$

где k_i — модульный коэффициент стока каждого года; n — число лет наблюдений (число членов статистического ряда).

При $n < 30$ формула (4.1) используется в виде

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_1^n (k_i - 1)^2}{n - 1}}. \tag{4.1'}$$

Формула (4.1) представляет собой выражение второго момента площади кривой распределения относительно центральной ординаты, а метод определения C_v и C_s по формулам (4.1) и (4.6) называется методом моментов.

Относительная средняя квадратическая ошибка коэффициента вариации, вычисленная по этим формулам, равна

$$\sigma_{C_v} = \frac{\sqrt{1 + C_v^2}}{\sqrt{2n}} \cdot 100\%. \tag{4.2}$$

Формула (4.2) предложена Е. Г. Блохиновым и рекомендована Указаниями СН 371-67.

В третьем издании учебника «Речной сток» Д. Л. Соколовский отмечает, что для нормального распределения параметра или близкого к нему более обоснованной формулой определения σ_{C_v} является

$$\sigma_{C_v} = \frac{\sqrt{1 + 2C_v^2}}{\sqrt{2n}} \cdot 100\%. \qquad (4.3)$$

Значения σ_{C_v} в зависимости от n и C_v, вычисленные по формулам (4.2) и (4.3), приводятся в табл. 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1

Относительные средние квадратические ошибки (%) коэффициента вариации, вычисленные по формуле

$$\sigma_{C_v} = \frac{\sqrt{1 + C_v^2}}{\sqrt{2n}} \cdot 100\%$$

C_v	Число лет наблюдений									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,20	23	16	13	11	10	9,3	8,6	8,1	7,6	7,2
0,30	23	17	14	12	10	9,6	8,8	8,3	7,8	7,4
0,40	24	17	14	12	11	9,8	9,1	8,5	8,0	7,6

Примечание. При промежуточных значениях C_v и n σ_{C_v} определяется по интерполяции.

Таблица 4.2

Относительные средние квадратические ошибки (%) коэффициента вариации, вычисленные по формуле

$$\sigma_{C_v} = \frac{\sqrt{1 + 2C_v^2}}{\sqrt{2n}} \cdot 100\%$$

n	C_v				
	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
10	23,2	25,7	29,4	33,7	38,6
20	16,5	18,2	20,7	23,9	27,4
30	13,4	14,8	16,9	19,5	22,3
50	10,4	11,5	13,1	15,1	17,3
100	7,4	8,2	9,3	10,7	12,3

Из этих таблиц видно, что для определения $C_v<0{,}50$ с точностью $\pm 10\%$ необходимо иметь ряд наблюдений продолжительностью 50—60 лет, а вычисления по формулам (4.2) и (4.3) дают малую разницу, которая практически не сказывается на конечных результатах расчетов.

При большой изменчивости годового стока ($C_v>0{,}50$), что характерно для рек засушливых районов, коэффициент вариации определяется методом наибольшего правдоподобия. По этому методу значение C_v устанавливается в зависимости от параметра λ, который представляет собой среднее значение логарифмов модульных коэффициентов $\lg k$ и вычисляется по равенству

$$\lambda = \frac{\sum_1^n \lg k_i}{n-1}. \qquad (4.4)$$

Имея значение λ, по табл. 4.3 легко установить величину C_v.

Относительная средняя квадратическая ошибка C_v, установленного с помощью параметра λ, приближенно равна

$$\sigma_{C_v} = \sqrt{\frac{3}{2n\left(3+C_v^3\right)}} \cdot 100\%. \qquad (4.5)$$

Более точные значения σ_{C_v}, вычисленные методом наибольшего правдоподобия, приводятся в табл. 4.4.

Значения коэффициентов вариации, определенные методом моментов и методом наибольшего правдоподобия при $C_v>0{,}5$, различаются не более чем на 2—3% (табл. 4.5). В то же время метод наибольшего правдоподобия отличается сложностью и громоздкостью вычислений. Поэтому можно считать, что метод наибольшего правдоподобия для определения C_v не имеет преимущества перед методом моментов и при массовых расчетах C_v лучше пользоваться последним, т. е. формулой (4.1), который оправдал себя при многочисленном практическом применении.

Коэффициенты вариации, установленные по формуле (4.1) и по табл. 4.3 с помощью параметра λ, принимаются в качестве расчетных, когда их средняя квадратическая ошибка, вычисленная по формуле (4.2), не превышает следующие пределы:

Интервалы значений C_v	0,2—0,3	0,4—0,8	больше 0,8
Допустимая средняя квадратическая ошибка, %	20	10	5

Таблица 4.3

Значения коэффициента изменчивости в зависимости от значений параметра λ (значения λ отрицательные)

C_v	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
					$C_s=2C_v$					
0,50	0,0565	0,0589	0,0613	0,0638	0,0664	0,0690	0,0716	0,0743	0,0771	0,0799
0,60	0,0828	0,0858	0,0887	0,0918	0,0949	0,0981	0,101	0,105	0,108	0,111
0,70	0,115	0,118	0,122	0,126	0,129	0,133	0,137	0,141	0,145	0,149
0,80	0,153	0,157	0,162	0,166	0,170	0,175	0,180	0,184	0,189	0,194
0,90	0,198	0,203	0,208	0,213	0,218	0,224	0,229	0,234	0,240	0,245
1,00	0,251	0,256	0,262	0,268	0,274	0,280	0,286	0,292	0,298	0,304
1,10	0,311	0,317	0,323	0,330	0,337	0,343	0,350	0,357	0,364	0,371
1,20	0,378	0,386	0,393	0,400	0,408	0,415	0,423	0,431	0,438	0,446
1,30	0,454	0,462	0,471	0,479	0,487	0,496	0,504	0,513	0,521	0,530
1,40	0,539	0,548	0,557	0,566	0,575	0,584	0,594	0,603	0,613	0,623
1,50	0,632	0,642	0,652	0,662	0,672	0,682	0,692	0,703	0,713	0,724
1,60	0,734	0,745	0,756	0,767	0,778	0,789	0,800	0,811	0,823	0,834
1,70	0,846	0,857	0,869	0,881	0,893	0,905	0,917	0,929	0,941	0,953
1,80	0,966	0,978	0,991	1,004	1,016	1,029	1,042	1,055	1,069	1,082
1,90	1,095	1,109	1,122	1,136	1,150	1,163	1,177	1,191	1,205	1,220
2,00	1,234	—	—	—	—	—	—	—	—	—
					$C_s=1{,}5C_v$					
0,50	0,0617	0,0647	0,0677	0,0707	0,0737	0,0767	0,0800	0,0832	0,0865	0,0897
0,60	0,0930	0,0969	0,101	0,105	0,109	0,113	0,117	0,122	0,127	0,131
0,70	0,136	0,141	0,146	0,151	0,156	0,161	0,167	0,172	0,178	0,184
0,80	0,189	0,195	0,202	0,208	0,214	0,221	0,227	0,234	0,241	0,248
0,90	0,255	0,263	0,271	0,278	0,286	0,294	0,302	0,310	0,319	0,327
1,00	0,336	0,345	0,354	0,363	0,372	0,381	0,391	0,401	0,411	0,421

C_v	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,10	0,431	0,441	0,452	0,463	0,474	0,484	0,496	0,507	0,519	0,530
1,20	0,542	0,554	0,566	0,579	0,591	0,603	0,616	0,630	0,643	0,656
1,30	0,669	0,683	0,697	0,711	0,725	0,739	0,754	0,768	0,783	0,798
1,40	0,813	0,828	0,844	0,860	0,875	0,891	0,907	0,924	0,940	0,957
1,50	0,973	0,990	1,008	1,025	1,042	1,060	1,078	1,096	1,114	1,132
1,60	1,150	1,169	1,188	1,207	1,226	1,245	1,265	1,285	1,305	1,324
1,70	1,344	1,365	1,386	1,406	1,427	1,448	1,469	1,491	1,512	1,533
1,80	1,555	1,577	1,599	1,622	1,644	1,666	1,690	1,713	1,736	1,759
1,90	1,782	1,806	1,830	1,854	1,878	1,902	1,927	1,952	1,976	2,001
2,00	2,026	—	—	—	—	—	—	—	—	—

$C_s = 3C_v$

0,50	0,0497	0,0516	0,0535	0,0555	0,0574	0,0594	0,0614	0,0635	0,0656	0,0677
0,60	0,0698	0,0720	0,0742	0,0764	0,0786	0,0808	0,0832	0,0856	0,0879	0,0903
0,70	0,0926	0,0951	0,0976	0,100	0,103	0,105	0,108	0,110	0,113	0,116
0,80	0,118	0,121	0,124	0,127	0,129	0,132	0,135	0,138	0,141	0,144
0,90	0,147	0,150	0,153	0,156	0,159	0,162	0,165	0,168	0,171	0,174
1,00	0,177	0,181	0,184	0,187	0,191	0,194	0,197	0,201	0,204	0,208
1,10	0,211	0,215	0,218	0,222	0,225	0,229	0,232	0,236	0,240	0,243
1,20	0,247	0,251	0,255	0,258	0,262	0,266	0,270	0,274	0,277	0,281
1,30	0,285	0,289	0,294	0,298	0,302	0,306	0,311	0,315	0,319	0,323
1,40	0,327	0,332	0,336	0,340	0,345	0,349	0,354	0,358	0,363	0,367
1,50	0,372	0,376	0,381	0,385	0,390	0,395	0,400	0,404	0,409	0,414
1,60	0,419	0,424	0,428	0,433	0,438	0,443	0,448	0,453	0,458	0,463
1,70	0,468	0,474	0,479	0,484	0,489	0,495	0,500	0,505	0,511	0,516
1,80	0,521	0,527	0,532	0,538	0,543	0,549	0,555	0,560	0,566	0,572
1,90	0,578	0,584	0,589	0,595	0,600	0,606	0,612	0,618	0,624	0,630
2,00	0,636	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 4.4

Относительная средняя квадратическая ошибка (%) коэффициента изменчивости, вычисленного по табл. 4.3

C_v	Число лет наблюдений n									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,50	21,5	15,2	12,4	10,8	9,6	8,8	8,1	7,6	7,2	6,8
0,75	20,5	14,5	11,8	10,3	9,2	8,4	7,7	7,2	6,9	6,5
1,00	19,4	13,7	11,2	9,7	8,7	7,9	7,3	6,8	6,5	6,1
1,25	18,2	12,8	10,5	9,1	8,1	7,5	6,9	6,4	6,1	5,8
1,50	16,9	12,0	9,8	8,5	7,6	6,9	6,4	6,0	5,7	5,4
1,75	15,8	11,2	9,1	7,9	7,0	6,4	6,0	5,6	5,3	5,0
2,00	14,6	10,4	8,4	7,3	6,6	6,0	5,5	5,2	4,9	4,6

Примечание. При промежуточных значениях C_v и n средняя квадратическая ошибка определяется по интерполяции.

Таблица 4.5

Средние значения C_v, определенные методами моментов и наибольшего правдоподобия

Истинное значение C_v	Объем выборки n	Значение C_v	
		по методу моментов	по методу наибольшего правдоподобия
0,25	25	0,25	0,25
	50	0,24	0,25
0,50	25	0,49	0,49
	50	0,50	0,50
1,00	25	0,97	0,99
	50	0,98	1,00

Максимальные ошибки C_v значительно превышают среднее квадратическое значение. Они возможны тогда, когда в короткий ряд наблюдений, по которому определяются C_v, входит очень многоводный или маловодный год, повторяемость которого значительно реже чем один раз в n лет. Однако вероятность больших ошибок C_v, в два-три раза превышающих ее среднюю квадратическую величину, очень мала.

Коэффициент асимметрии C_s характеризует несимметричность ряда величин стока относительно его среднего значения. Это менее устойчивый параметр кривой распределения или обеспеченности и для надежного его определения требуется ряд наблюдений над стоком более 100—150 лет.

По имеющимся рядам наблюдений можно установить лишь приближенное значение коэффициента асимметрии. Для этой

цели используется формула третьего момента

$$C_s = \frac{\sum_1^n (k-1)^3}{nC_v^3}. \qquad (4.6)$$

Относительная средняя квадратическая ошибка C_s зависит от коэффициента вариации C_v и числа лет наблюдений n. Ее значение при $C_s = 2C_v$ с учетом асимметричного распределения годовых величин стока может быть определена по формуле С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля

$$\sigma_{C_s} = \sqrt{\frac{6}{n}} \cdot \sqrt{1 + 6C_v^2 + 5C_v^4} \cdot 100\%. \qquad (4.7)$$

Значение σ_{C_s} при нормальном распределении может быть получено по формуле

$$\sigma_{C_s} = \sqrt{\frac{6}{n}} \cdot 100\%. \qquad (4.8)$$

Значения средней квадратической ошибки коэффициента асимметрии, вычисленные по формуле (4.7) при наиболее распространенных значениях C_v и n, очень велики (табл. 4.6) и свидетельствуют о том, что для практических целей необходимо определять C_s другими способами. Рекомендуется способ графического подбора.

Таблица 4.6

Относительные средние квадратические ошибки определения коэффициента асимметрии σ_{C_s} в % при $C_s = 2C_v$

n	Коэффициент вариации C_v					
	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
10	399	216	140	126	126	134
20	281	153	99	85	89	95
30	234	125	80	72	74	78
40	199	108	70	63	64	67
50	178	96	63	56	57	60
100	125	69	44	39	41	42

Так, при наличии достаточно длинного ряда наблюдений (более 30—40 лет) величина C_s может быть установлена путем последовательного подбора его значений, исходя из условий наилучшего соответствия эмпирическим точкам принятой теоретической кривой обеспеченности, ординаты которой вычислены при одном из заданных значений C_s/C_v. Установленное для данной реки отношение C_s/C_v проверяется по другим опорным пунктам рек этого же района. Совмещенные кривые строятся в модульных коэффициентах на клетчатке вероятностей, которая имеет

полулогарифмический или логарифмический масштаб, благодаря чему кривые обеспеченности спрямляются.

Обеспеченность точек (модульных коэффициентов) эмпирической кривой $p\%$ определяется по формуле (2.9)

$$p = \frac{m - 03}{n + 04}.$$

Теоретические кривые строятся с помощью таблиц приложений 6, 7, 8 при установленном значении C_v и разных задаваемых значениях C_s, например $C_s = 1{,}5C_v$, $C_s = 2C_v$, $C_s = 3C_v$, $C_s = 4C_v$.

Кривая, располагающаяся лучше других относительно эмпирических точек, и ее значение C_s принимаются в качестве расчетных.

Кроме вышеизложенных методов определения параметров кривых распределения (обеспеченности), в последнее время широко применяется графо-аналитический метод, разработанный Г. А. Алексеевым. По этому методу, все три параметра кривой обеспеченности — норма, коэффициент вариации и коэффициент асимметрии — вычисляются с помощью трех характерных ординат сглаженной эмпирической кривой обеспеченности. Такими ординатами являются величины годового стока 5, 50 и 95%-ной обеспеченности. На клетчатку вероятностей наносятся точки наблюденных модулей M_i или расходов Q_i, расположенные в убывающем порядке. Обеспеченность эмпирических точек определяется по формуле (2.9). По этим точкам проводится сглаженная эмпирическая кривая, с которой снимаются три характерные ординаты. По этим ординатам прежде всего вычисляется коэффициент скошенности S кривой обеспеченности, который является функцией коэффициента асимметрии C_s

$$S = \frac{Q_{5\%} + Q_{95\%} - 2Q_{50\%}}{Q_{5\%} - Q_{95\%}}, \qquad (4.9)$$

где $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$ и $Q_{95\%}$ — величины годового стока 5, 50 и 95%-ной обеспеченности, снятые со сглаженной эмпирической кривой обеспеченности.

Затем по полученному значению S по табл. 4.7 находится соответственное значение коэффициента асимметрии C_s. Далее устанавливается среднее квадратическое отклонение σ_Q и среднее значение (норма) годового стока Q_0 по формулам:

$$\sigma_Q = \frac{Q_{5\%} - Q_{95\%}}{\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}}, \qquad (4.10)$$

$$Q_0 = Q_{50\%} - \sigma_Q \Phi_{50\%}, \qquad (4.11)$$

где $\Phi_{5\%}$, $\Phi_{50\%}$ и $\Phi_{95\%}$ — относительные отклонения ординат биномиальной кривой обеспеченности от середины (единицы) при C_v, равном единице, и C_s, установленном по табл. 4.7.

Таблица 4.7

Значения коэффициента асимметрии C_s и коэффициента скошенности S биномиальной кривой распределения

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

C_s	$\frac{Q_p-\overline{Q}}{\sigma_Q}=\Phi(p, C_s)$			$\Phi_{5\%}$ $\Phi_{95\%}$	$S=\frac{Q_{5\%}+Q_{95\%}-2Q_{50\%}}{Q_{5\%}-Q_{95\%}}$
	$\Phi_{5\%}$	$\Phi_{50\%}$	$\Phi_{95\%}$		
4,6	1,84	—0,40	—0,44	2,28	0,97
4,7	1,83	—0,40	—0,43	2,26	0,97
4,8	1,81	—0,39	—0,42	2,23	0,98
4,9	1,80	—0,39	—0,41	2,21	0,98
5,0	1,78	—0,38	—0,40	2,18	0,98
5,1	1,76	—0,38	—0,39	2,15	0,98
5,2	1,74	—0,37	—0,38	2,15	0,98

Значения $\Phi_{5\%}$, $\Phi_{50\%}$ и $\Phi_{95\%}$ находятся также по табл. 4.7. Коэффициент вариации C_v определяется по формуле

$$C_v=\frac{\sigma_Q}{Q_0}. \tag{4.12}$$

Ошибки параметров (C_s, нормы и C_v), установленных графо-аналитическим способом, определяются по приведенным выше формулам и таблицам ошибок.

Если вычисленные ошибки превышают принятые пределы, параметры кривой обеспеченности необходимо привести к многолетнему периоду, пользуясь данными реки-аналога.

Графо-аналитический метод определения параметров кривых обеспеченности менее трудоемкий по сравнению с методом моментов, особенно при длинных рядах наблюдений, что является его достоинством. Однако точность параметров, определяемых этим методом, зависит от обоснованности проведения сглаженной эмпирической кривой обеспеченности, что в свою очередь зависит от длины ряда, его изменчивости, согласованности расположения точек в верхних и нижних концах кривой, а также от опыта самого исполнителя. Кроме того, этот способ не предусматривает подбора такого неустойчивого параметра, как коэффициент асимметрии; его принимают с первого вычисления, что при разбросе точек в верхних и нижних концах эмпирических кривых может привести к существенным отклонениям теоретических кривых от наблюденных точек и значительным ошибкам величин стока малой обеспеченности. Поэтому и в данном случае необходима проверка сходимости теоретической кривой обеспеченности с эмпирическими точками путем их совместного построения.

§ 4.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВАРИАЦИИ И АСИММЕТРИИ ПРИ НАЛИЧИИ КОРОТКИХ РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Как видно из приведенных в § 4.1 формул и таблиц, принятая Указаниями СН 371-67 допустимая точность вычисления C_v при ограниченных рядах наблюдений может быть достигнута лишь для рек зон избыточного и достаточного увлажнения с незначительными колебаниями годового стока. В засушливых зонах и зонах недостаточного увлажнения, где колебания годового стока рек велики, определить C_v с точностью $\pm$ 10—5% часто невозможно из-за малой продолжительности наблюдений.

Во всех тех случаях, когда относительная средняя квадратическая ошибка коэффициента вариации превышает указанные пределы, его значение, вычисленное по короткому ряду наблюдений, следует привести к многолетнему периоду по данным опорных пунктов на реках-аналогах. Особенно необходимо приводить C_v к длинному ряду, если в состав короткого ряда наблюдений входят очень многоводный и очень маловодный годы редкой повторяемости.

Приведение C_v к многолетнему периоду основано на том предположении, что соответствие колебаний годового стока, наблюдавшееся за время параллельных наблюдений в обоих створах, сохраняется и в течение более длительного периода. По этому сохраняется пропорциональность C_v с изменением длины ряда. Выбирается аналог исходя из условий синхронности колебаний годового стока в обоих створах и при высоком коэффициенте корреляции связи, равном 0,8—0,9.

Осуществляется приведение C_v к многолетнему периоду аналитическим или графо-аналитическими способами при наличии параллельных наблюдений в расчетном и опорном створах в течение не менее 10—15 лет.

Аналитический способ может быть представлен двумя формулами. Наиболее простой является формула

$$C_{v\,N} = C_{v\,a\,N}\,\frac{C_{v\,n}}{C_{v\,a\,n}}, \tag{4.13}$$

где $C_{v\,N}$ и $C_{v\,n}$ — коэффициенты вариации годового стока, вычисленные по длинному (N) и короткому (n) рядам наблюдений. Индексом «а» обозначен коэффициент вариации C_v реки-аналога.

Вторая формула, рекомендованная СН 371-67, имеет вид

$$C_{v\,N} = \frac{C_{v\,n}}{\sqrt{1 - r^2\left(1 - \dfrac{\sigma^2_{n\,a}}{\sigma^2_{N\,a}}\right)}} \cdot \frac{Q_{cp\,n}}{Q_{cp\,N}}, \tag{4.14}$$

или

$$C_{v\,N}=\frac{C_{v\,n}}{\sqrt{1-r^2\left(1-\frac{C^2_{v\,n\,a}}{C^2_{v\,N\,a}}\cdot\frac{Q^2_{cp\,n\,a}}{Q^2_{cp\,N\,a}}\right)}}\cdot\frac{Q_{cp\,n}}{Q_{cp\,N}}, \qquad (4.15)$$

где C_v — коэффициент вариации годового стока; $Q_{ср}$ — средний годовой расход воды; σ — относительная средняя квадратическая ошибка средней величины стока; N — индекс, означающий, что данная характеристика относится к многолетнему периоду; n — индекс, означающий, что данная характеристика относится к короткому периоду; а — индекс, означающий, что данная характеристика относится к реке-аналогу; r — коэффициент корреляции стока в обоих створах.

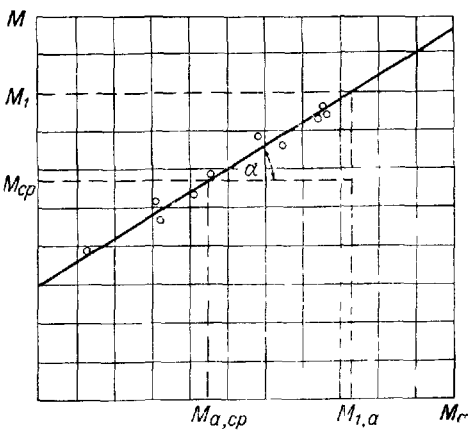


Рис. 4.1. Графическое построение для приведения коэффициента вариации к многолетнему периоду

Значения σ и r вычисляются по формулам (3.5) и (3.9).

Графо-аналитический способ приведения C_v к многолетнему периоду представлен несколькими вариантами.

Например, методическими рекомендациями к составлению справочника по водным ресурсам СССР предлагается формула приведения C_v к многолетнему периоду, проверенная К. П. Воскресенским на большом фактическом материале,

$$C_{v\,N}=C_{v\,N\,a}\frac{M_{N\,a}}{M_N}\operatorname{tg}\alpha, \qquad (4.16)$$

где C_v — коэффициент вариации; M — средний многолетний модуль (норма) стока, значение которого установлено методами, изложенными в главе 3; N и а — индексы, имеющие те же значения, что и в предыдущих формулах; $\operatorname{tg}\alpha$ — тангенс угла наклона линии связи годовых величин стока к оси модулей стока пункта-аналога (рис. 4.1).

Связь годовых модулей стока расчетного пункта и пункта-аналога строится за годы параллельных наблюдений и должна удовлетворять всем тем требованиям, которые предъявляются к этим связям при определении нормы стока.

Коэффициент асимметрии C_s при коротких рядах наблюдений определяется на основании анализа отношений C_s/C_v, установленных по группе рек-аналогов в соответствии с § 4.1. К расчету принимается наиболее характерное для данного района отношение C_s/C_v.

Если ряды наблюдений на реках района короткие и невозможно установить типичное отношение C_s/C_v, для зоны избыточного и переменного увлажнения (арктической, тундровой, лесной, лесостепной, степной) принимается $C_s=2C_v$, для зоны недостаточного увлажнения при наличии лет с почти полным отсутствием стока (сухостепной, пустынной) $C_s=(1{,}5\div1{,}8)C_v$.

Графо-аналитическим способом, изложенным в § 4.1, приводятся к многолетнему периоду одновременно все три параметра кривой обеспеченности. Для этого выбирается река-аналог с длительным рядом наблюдений над годовым стоком. Затем строится график связи годовых величин стока за период одновременных наблюдений в обоих створах. Этот график служит критерием выбора аналога. По длинному ряду реки-аналога строится кривая обеспеченности годового стока и определяются его значения $Q_{5\%\,а}$, $Q_{50\%\,а}$ и $Q_{95\%\,а}$. По этим ординатам с графика связи снимаются соответствующие ординаты $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$ и $Q_{95\%}$ кривой обеспеченности для расчетного створа.

В дальнейшем, пользуясь формулами (4.9)—(4.12) и значениями $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$ и $Q_{95\%}$, устанавливаются приведенные к многолетнему периоду параметры кривой обеспеченности (C_s, норма и C_v) для расчетного створа.

Если приведенное значение C_v отличается от вычисленного по имеющемуся ряду наблюдений не более чем на 10%, то в расчетах принимается вычисленная величина C_v.

§ 4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВАРИАЦИИ И АСИММЕТРИИ ПРИ ОТСУТСТВИИ НАБЛЮДЕНИЙ

Коэффициент вариации C_v годового стока неисследованных рек может быть установлен либо по карте изолиний, либо с помощью эмпирических зависимостей.

Карта изолиний коэффициента вариации годового стока (приложение XXVI) применима для рек с площадями водосборов от 1000 до 50 000 $км^2$ при отсутствии на водосборе озер, суммарная площадь которых составляет более 2—3% общей площади бассейна реки.

Определение C_v по карте изолиний аналогично определению нормы стока по карте изолиний среднего годового стока.

Для рек с площадями водосбора более 50 000 $км^2$ коэффициенты вариации устанавливаются по аналогии с их значениями в других створах учета стока на данной реке или на других реках этого же района.

Расчет коэффициентов вариации годового стока рек с площадями водосборов менее 1000 $км^2$, в том числе водотоков неполностью дренирующих подземные воды в пределах своих бассейнов (зоны избыточного и переменного увлажнения) или имеющих повышенную норму стока вследствие меньших потерь (зона недостаточного увлажнения), производится методом аналогии по формуле

$$C_v = C_{v\,a}\frac{M_{0\,a}}{M_0}, \qquad (4.17)$$

где $C_{v\,a}$ и $M_{0\,a}$ — коэффициент вариации и норма годового стока реки-аналога; C_v и M_0 — коэффициент вариации и норма годового стока в расчетном створе.

В случае невозможности выбора аналога значение C_v принимается по карте коэффициента вариации годового стока.

Для определения C_v годового стока при отсутствии наблюдений рекомендуется также пользоваться общей для всей территории Советского Союза эмпирической формулой Воскресенского

$$C_v = \frac{A}{M_0^{0,4}(F+1000)^{0,1}}. \qquad (4.18)$$

Если на водосборе имеются озера, то при определении C_v пользуются эмпирической формулой М. Э. Шевелева, учитывающей их влияние на колебания годового стока,

$$C_v = b - 0{,}29\lg M_0 - 0{,}063\lg(F+1) - 0{,}08\lg(f_0+1). \qquad (4.19)$$

В формулах (4.18) и (4.19) M_0 — норма стока расчетной реки в $л/сек$ с 1 $км^2$; F — площадь ее водосбора в $км^2$; f_0 — площадь озер в % от всей площади водосбора реки; A и b — параметры, выражающие зависимость C_v от зональных ландшафтных условий.

Параметры A и b в формулах (4.18) и (4.19) определяются методом аналогии путем подстановки в них известного для реки-аналога значения C_v.

Кроме карты изолиний и приведенных формул (4.18) и (4.19), значение C_v неисследованных рек также может быть установлено и по другим эмпирическим формулам, выражающим зависимость C_v от нормы стока, площади водосбора, средней высоты бассейна (для горных рек) и др. при надлежащем их обосновании и проверке параметров расчетами по рекам-аналогам.

Например, для определения C_v годового стока рек горных районов используются эмпирические формулы, учитывающие среднюю высоту водосбора, вида

$$C_v = \frac{A_1}{H_{ср}^m}, \qquad (4.20)$$

где $H_{ср}$ — средняя высота водосбора в *м*; A_1 и m — параметры, значения которых определяются на основании обобщения данных по C_v и $H_{ср}$ изученных рек данного горного района.

Широко известны в литературе и применяются на практике эмпирические формулы, выражающие зависимость коэффициента вариации от площади водосбора: Д. Л. Соколовского, С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля, Н. Д. Антонова, а также формула Э. М. Шевелева, учитывающие, кроме площади водосбора, и модуль стока.

Коэффициенты асимметрии неизученных рек назначаются исходя из нормативных соображений, как это было показано в § 4.2, или устанавливаются по данным рек-аналогов. Здесь имеется в виду, что при полной синхронности колебаний годового стока в каких-либо двух пунктах их коэффициенты асимметрии должны быть равными.

§ 4.4. ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ГОДОВОГО СТОКА РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ

Выше рассмотрены основные способы определения параметров Q_0 или M_0, C_v и C_s, по которым могут быть построены теоретические кривые обеспеченности годового стока в абсолютных или относительных ординатах. При относительном выражении ординат кривой (в модульных коэффициентах), когда $k_0=1{,}0$, т. е. для безразмерной кривой обеспеченности, необходимо иметь два параметра C_v и C_s. Этот способ является более удобным для обобщений параметров.

Уравнение биномиальной кривой распределения было проинтегрировано А. Фостером для целых значений $p=\dfrac{4}{C_s^2}-1$ и по интерполяции остальных значений C_s составлены таблицы отклонений ординат кривых обеспеченности от середины (от $k_0=1{,}0$) при $C_v=1{,}0$ для разных значений C_s и обеспеченности $p\%$ (приложение 6), т. е. таблицы значений

$$\Phi_p=f(C_s,\ p\%)=\frac{k_p-1{,}0}{C_v}. \tag{4.21}$$

Отсюда следует, что

$$k_p=\Phi_p C_v+1{,}0, \tag{4.22}$$

т. е. для определения с помощью таблиц значения модульного коэффициента k обеспеченностью $p\%$ (k_p) необходимо значения Φ_p умножить на вычисленную для данной реки величину C_v и прибавить единицу (рис. 4.2). Они выражены в отклонениях от $k=1{,}0$.

Значения Φ обеспеченностью $p\%$ (Φ_p) берутся по строке таблицы, соответствующей установленной величине C_s.

Таким образом, вычислив по данным наблюдений коэффициенты вариации и асимметрии, т. е. определив второй и третий моменты площади эмпирической кривой распределения, мы при-

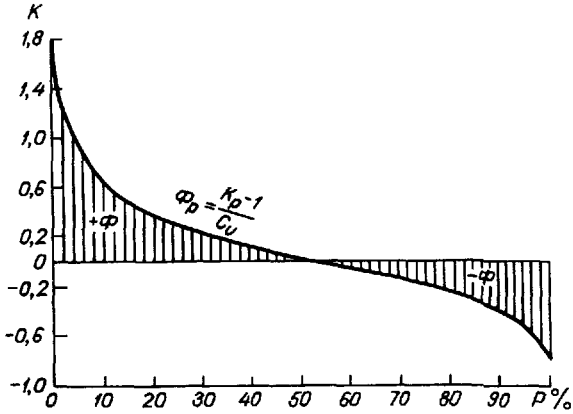


Рис. 4.2. Схема построения и пользования таблицей интеграла вероятностей.

нимаем их за второй и третий моменты площади биномиальной асимметричной кривой распределения и, пользуясь таблицей интеграла ее уравнения, строим слаженную теоретическую кривую в необходимых пределах обеспеченности.

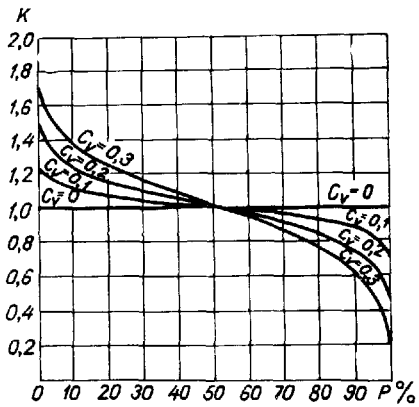


Рис. 4.3. Влияние величины коэффициента вариации C_v на форму кривой обеспеченности (при $C_s=0$).

Известно, что параметры C_v и C_s не обладают достаточной устойчивостью (особенно C_s) и расчетная теоретическая кривая обеспеченности, отвечающая наблюденным точкам, часто устанавливается подбором. Поэтому при построении и подборе кривых обеспеченности необходимо знать, как влияют C_v и C_s на их очертания, что иллюстрируется рис. 4.3 и 4.4.

На рис. 4.3 легко заметить, что с увеличением C_v увеличивается наклон кривой обеспеченности относительно горизонтальной линии $k=1{,}0$, которая характеризует ряд, состоящий из постоянных величин $k_i=1$ с $C_v=0$. Таким образом, с увеличением C_v более резко меняются координаты кривой при переходе от

одной обеспеченности к другой и чем выше C_v, тем больше ошибка в его определении сказывается на расчетных величинах стока.

На рис. 4.4 представлены кривые обеспеченности, построенные при различных значениях C_s и постоянном $C_v=0{,}50$. Кри-

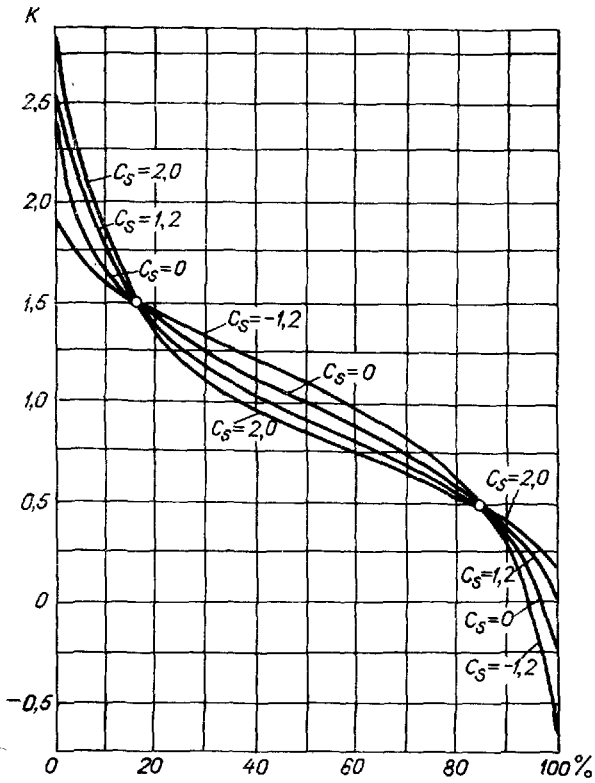


Рис. 4.4. Влияние величины коэффициента асимметрии C_s на форму кривой обеспеченности (при $C_v=0{,}50$).

вая, построенная при $C_s=0$, симметрична и пересекает горизонтальную линию $k_0=1{,}0$ в точке, соответствующей 50%-ной обеспеченности (медиана совпадает с центром распределения). По мере возрастания C_s увеличивается прогиб кривой обеспеченности, т. е. увеличиваются ее крайние ординаты и уменьшаются ординаты средней части кривой. Чем выше значение C_s, тем круче верхняя ветвь кривой и положе нижняя. Смещается также влево (в зону $p<50\%$) и точка пересечения кривой с линией $k=1{,}0$ — увеличивается асимметричность кривой. При $C_s<0$ (отрицательная асимметрия) кривая имеет выпуклую среднюю часть и низкие ординаты в верхней и нижней частях кривой

Кривые, отвечающие разным C_s при одном и том же C_v, пересекаются между собой в двух точках.

Как отмечалось выше, наиболее широкое применение в гидрологических расчетах имеет биномиальная асимметричная кривая обеспеченности. Однако она имеет ряд недостатков и не может удовлетворять всевозможным случаям расчетов. Основным недостатком биномиальной кривой является ограниченный нижний предел C_s. Так, при $C_s<2C_v$, что иногда соответствует эмпирическим рядам, эта кривая обеспеченности пересекает ось абсцисс и ее ординаты, начиная с некоторой обеспеченности (обычно 95—97%), принимают отрицательные значения, что противоречит физической сущности явления. Поэтому в гидрологических расчетах используются и другие схемы распределения.

Например, более общая схема распределения С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля допускает любые соотношения C_s/C_v и лучше отвечает стоковым рядам рек засушливых районов с высокими значениями C_v и $C_s<2C_v$. Кривые Крицкого и Менкеля часто называют кривыми трехпараметрического гамма-распределения.

В настоящее время рекомендуется пользоваться двумя кривыми обеспеченности — биномиальной асимметричной и кривыми трехпараметрического гамма-распределения.

Во всех тех случаях, когда $C_v \leqslant 0{,}5$ и вычисляется по формуле (4.1), расчетные величины средних годовых расходов воды заданных обеспеченностей рекомендуется определять по биномиальной асимметричной кривой обеспеченности с использованием установленных параметров Q_0, C_v и C_s. Для построения кривой используются отклонения ординат асимметричной биномиальной кривой обеспеченности от середины (от единицы) при $C_v=1{,}0$ (приложение 6), по которым вычисляются значения ординат [по формуле (4.22)]. Если принято $C_s=2C_v$, что очень часто бывает для средних годовых расходов, кривая строится по уже вычисленным ординатам биномиальной асимметричной кривой обеспеченности (приложение 7).

Если $C_v>0{,}5$ и установлено с помощью формулы (4.4) по табл. 4.3, для построения кривой обеспеченности следует пользоваться таблицами ординат кривых трехпараметрического гамма-распределения (приложение 8).

Строятся кривые обеспеченности на специальных клетчатках вероятности, которые позволяют спрямлять кривые и тем самым облегчить их экстраполяцию. Чаще всего применяется клетчатка полулогарифмического масштаба, на которой полностью спрямляется симметричная кривая обеспеченности при $C_s=0$. Такую клетчатку можно построить с помощью табл. 4.8, составленной С. Н. Рыбкиным.

Расход воды заданной обеспеченности $p\%$ (Q_p) определяется по формуле

$$Q_p = k_p Q_0 \ м^3/сек, \qquad (4.23)$$

где k_p — модульный коэффициент заданной обеспеченности $p\%$, снятый с расчетной теоретической кривой обеспеченности; Q_0 — среднее значение расхода.

Таблица 4.8

Данные для построения клетчатки вероятностей

Значения абсциссы шкалы вероятностей $p\%$	Горизонтальное расстояние от середины (50%), *мм*	Значения абсциссы шкалы вероятностей $p\%$	Горизонтальное расстояние от середины (50%), *мм*	Значения абсциссы шкалы вероятностей $p\%$	Горизонтальное расстояние от середины (50%), *мм*
50	0	16	42,7	1,0	100,0
48	2,1	15	44,6	0,9	101,7
46	4,3	14	46,5	0,8	103,6
44	6,5	13	48,5	0,7	105,7
42	8,7	12	50,5	0,6	108,1
40	10,9	11	52,7	0,5	110,8
38	13,1	10	55,1	0,4	114,0
36	15,4	9	57,6	0,3	118,2
34	17,7	8	60,4	0,2	123,7
32	20,1	7	63,5	0,1	133,0
30	22,5	6	66,8	0,09	134,2
28	25,0	5	70,7	0,08	135,8
26	27,6	4,5	72,9	0,07	137,7
24	30,3	4,0	75,3	0,06	139,7
22	33,2	3,5	78,0	0,05	142,1
20	36,2	3,0	80,9	0,04	145,0
19	37,7	2,5	84,3	0,03	148,5
18	39,3	2,0	88,3	0,02	153,4
17	41,0	1,5	93,3	0,01	161,0

Вычисление параметров и ординат кривых обеспеченности, построение кривых и определение обеспеченных значений годовых расходов как при наличии, так и при отсутствии данных наблюдений покажем на ряде примеров.

Пример 4.1. Определить расходы воды р. Енисея у г. Енисейска заданных обеспеченностей: p=5, 10, 25, 50, 75, 95, 97 и 99%.

Для решения поставленной задачи необходимо:

1) вычислить параметры кривой обеспеченности Q_0, C_v и C_s;

2) построить кривые обеспеченности — эмпирическую и теоретическую;

3) по принятой теоретической кривой обеспеченности вычислить расходы воды заданной обеспеченности.

Продолжительность наблюдений над стоком Енисея у г. Енисейска 60 лет — с 1903 по 1966 г. за исключением 1906, 1922, 1923 и 1924 гг., когда имелись перерывы в наблюдениях. Вычисления Q_0, C_v и C_s сводятся в стандартную таблицу (табл. 4.9); C_v и C_s вычисляются методом моментов

В графе 1 таблицы выписывается порядковый номер, который используется в формуле (2.9) при определении эмпирической обеспеченности, в графах 2—3 — годы и средние годовые расходы или модули в хронологическом порядке. В графе 4 годовые расходы расположены в убывающем порядке от наибольшего, который имеет первый номер убывающего ряда, до наименьшего с порядковым номером 60.

Затем определяются $Q_0 = \frac{\Sigma Q}{60}$, модульные коэффициенты расходов

убывающего ряда $k=\frac{Q}{Q_0}$ (гр. 5) и значения $(k-1)$, $(k-1)^2$ и $(k-1)^3$ (графы 6—9) Вычисления выполняются с точностью: k — 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); $\Sigma(k-1)=0$. Погрешности за счет округления k при вычислении его с помощью логарифмической линейки обычно не велики, и если невязка не превышает 0,2—0,4, то она разбрасывается в ряд k. Грубые ошибки вычисления k и $(k-1)^2$ скажутся на точности C_v и кривой обеспеченности, и поэтому значения k должны быть исправлены.

Значения C_v и C_s вычисляются по алгебраическим суммам $\sum_1^n (k-1)^2$ и $\sum_1^n (k-1)^3$ с помощью формул (4.1) и (4.6) и приводятся в конце таблицы.

Таблица 4 9

Подсчет коэффициента вариации и асимметрии годового стока р. Енисея у г. Енисейска

$F=1\,420\,000$ км²

№ п/п	Год	Q м³/сек	Q в убыв. порядке, м³/сек	k	$k-1$		$(k-1)^2$	$(k-1)^3$		$P=\frac{m-0{,}3}{n+0{,}4}\times 100\%$
					+	−		+	−	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1903	6560	10 200	1,34	0,34		0,1156	0,0393		1,64
2	1904	8100	9 350	1,22	0,22		0,0484	0,0106		3,28
3	1905	7350	9 260	1,21	0,21		0,0441	0,0093		4,92
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
56	1962	6680	6 610	0,86		0,14	0,0196		0,0027	91,8
57	1963	6950	5 660	0,86		0,14	0,0196		0,0027	93,5
58	1964	6400	6 420	0,84		0,16	0,0256		0,0041	95,1
59	1965	7360	6 400	0,84		0,16	0,0256		0,0041	96,9
60	1966	8480	6 180	0,81		0,19	0,0361		0,0059	98,5
	Сумма			59,96	0		0,6944	0,0458		

$$Q_0=7640\ м^3/сек,$$

$$C_v=\sqrt{\frac{\sum(k-1)^2}{n}}=\sqrt{\frac{0{,}6944}{60}}=0{,}11;\quad \sigma_{C_v}=10\%$$

$$C_s=\frac{\sum(k-1)^3}{nC_v^3}=\frac{0{,}0458}{60\cdot 0{,}11^3}=0{,}57;\quad \sigma_{C_s}=50\%$$

Таблица 4.10

Вычисление ординат кривой обеспеченности годовых расходов воды р. Енисея у г. Енисейска

$N=60$, $Q_0=7640$ *м³/сек.*, $C_v=0{,}11$

$p\%$	0,1	1	5	10	25	50	75	80	90	95	97	99	99,9
						$C_s=0{,}57$							
Φ_p	3,92	2,73	1,79	1,32	0,62	−0,10	−0,72	−1,85	−1,20	−1,46	−1,63	−1,90	−2,30
$\Phi_p C_v$	0,43	0,30	0,20	0,14	0,07	−0,01	−0,08	−0,09	−0,13	−0,16	−0,18	−0,21	−0,25
$k_p=\Phi_p C_v+1$	1,43	1,30	1,20	1,14	1,07	0,99	0,92	0,91	0,87	0,84	0,82	0,79	0,75
$Q_p=Q_0 k_p$ *м³/сек*	10 900	9940	9140	8640	8170	7560	7020	6950	6630	6420	6250	6020	5720
						$C_s=2C_v$							
k_p	1,37	1,27	1,19	1,14	1,07	1,00	0,92	0,91	0,86	0,83	0,80	0,76	0,70
$Q_p=Q_0 k_p$ *м³/сек*	10 530	9700	9090	8700	8170	7640	7020	6950	6560	6340	6100	5800	5340

Параметры кривой обеспеченности годового стока р. Енисея у г. Енисейска, вычисленные по 60-летнему ряду наблюдений, и их средние квадратические ошибки следующие: $Q_0=7640$ *м³/сек*, $\sigma_{Q0}=1{,}4\%$, $C_v=0{,}11$, $\sigma_{Cv}=10\%$; $C_s=0{,}57$, $\sigma_{Cs}=50\%$.

Ошибки определения Q_0 и C_v незначительны, и вычисленные значения Q_0 и C_v могут быть приняты для дальнейших расчетов. Ошибка C_s при $n=60$ годам получилась большой. Поэтому расчетную кривую обеспеченности выбираем из двух теоретических кривых, построенных при C_s вычисленном и $C_s=2C_v$. Кривые обеспеченности построим для расходов.

Сначала строим эмпирическую кривую обеспеченности. Для этого пользуемся графами 5 и 11 табл. 4.9. Построение выполняем на специальной клетчатке (см. рис. 4.5). Затем вычисляем ординаты теоретических кривых обеспеченности. Так как $C_v=0{,}11$, то для построения теоретических кривых обеспеченности пользуемся таблицами биномиальной кривой (приложение 6 и 7). Вычисления ординат кривой при $C_s=0{,}57$ сводятся в табл. 4.10. Значения Φ_p выписываем из строчки приложения 6, соответствующей $C_s=0{,}57$. Значения k_p и Q_p вычисляются по формулам (4.22) и (4.23).

При $C_s=2C_v$ пользуемся таблицей ординат кривой обеспеченности (приложение 7), где приводятся значения k_p, соответствующие C_v (значения k_p выписываем из строки $C_v=0{,}11$).

По вычисленным Q_p построены две теоретические кривые обеспеченности, совмещенные с эмпирической кривой (рис. 4.5).

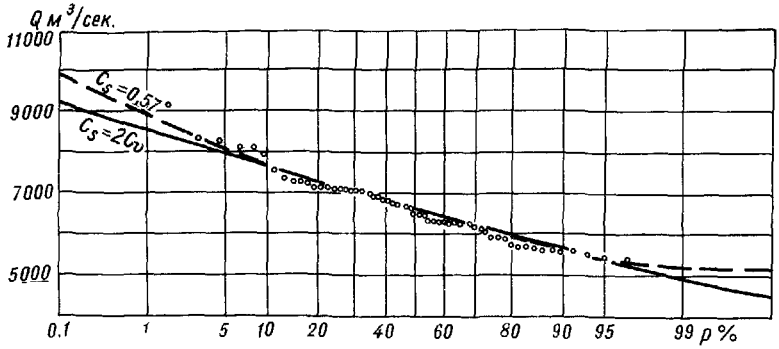


Рис. 4.5. Кривые обеспеченности средних годовых расходов воды р. Енисея у г. Енисейска.

$n=60$, $Q_0=7640$ *м³/сек*, $C_v=0{,}11$, $C_s=0{,}57$.

Сопоставление совмещенных кривых позволяет сделать вывод, что теоретическая кривая обеспеченности, построенная при $C_s=0{,}57$, лучше соответствует эмпирической кривой (наблюдеиным точкам) во всем диапазоне и поэтому она принимается в качестве расчетной (*табл. 4.11*).

Таблица 4.11

Годовые расходы воды р. Енисея у г. Енисейска заданных обеспеченностей

$Q_0=7640$ *м³/сек*, $C_v=0{,}11$ и $C_s=0{,}57$

Обеспеченность $p\%$ . .	5	10	50	75	90	95	97	99
Q_p *м³/сек*	9140	8640	7560	7020	6630	6420	6250	6020

Пример 4.2. Определить параметры кривой обеспеченности и значения годового стока разной обеспеченности р. Илека у г. Актюбинска ($F=11\,000$ км²) по данным наблюдений за 21 год.

Бассейн р. Илека находится в зоне засушливого климата, где годовой сток рек имеет большие колебания.

Таблица 4.12

Подсчет коэффициента вариации годового стока р. Илека у г. Актюбинска

$F=11\,000$ км²

№ п/п	Год	$M_{ср}$ л/сек с 1 км²	M в убывающем порядке л/сек с 1 км²	k	$k-1$		$(k-1)^2$	$p=\frac{m-0{,}3}{n+0{,}4}\times 100$	lg k
					+	−			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1940	0,72	5,19	2,72	1,72		2,9584	3,27	0,434
2	1941	3,39	4,04	2,12	1,12		1,2544	7,94	0,324
3	1942	5,19	3,75	1,96	0,96		0,9216	12,6	0,293
4	1944	0,43	3,74	1,96	0,96		0,9216	17,3	0,293
5	1946	4,04	3,39	1,78	0,78		0,6074	22,0	0,250
6	1947	1,23	2,74	1,43	0,43		0,1849	26,6	0,156
7	1948	3,75	2,54	1,33	0,33		0,1089	31,3	0,124
8	1949	2,54	1,79	0,94		0,06	0,0036	36,0	$\bar{1}$,973
9	1950	0,70	1,64	0,86		0,14	0,0196	40,6	$\bar{1}$,934
10	1951	0,68	1,50	0,78		0,22	0,0484	45,3	$\bar{1}$,892
11	1952	2,74	1,25	0,65		0,35	0,1225	50,0	$\bar{1}$,813
12	1953	0,95	1,23	0,64		0,36	0,1296	54,7	$\bar{1}$,806
13	1954	1,25	1,16	0,61		0,39	0,1521	59,4	$\bar{1}$,785
14	1955	0,78	1,06	0,55		0,45	0,2025	64,0	$\bar{1}$,740
15	1956	1,16	0,95	0,50		0,50	0,2500	68,7	$\bar{1}$,698
16	1957	3,74	0,82	0,43		0,57	0,3239	73,4	$\bar{1}$,633
17	1958	1,64	0,78	0,41		0,59	0,3481	78,0	$\bar{1}$,613
18	1959	1,50	0,72	0,38		0,62	0,3844	82,7	$\bar{1}$,580
19	1960	1,79	0,70	0,37		0,63	0,3969	87,4	$\bar{1}$,568
20	1961	0,82	0,68	0,36		0,64	0,4096	92,1	$\bar{1}$,556
21	1962	1,06	0,48	0,22		0,78	0,6074	96,7	$\bar{1}$,344
		Сумма 40,10		21			10,3550		−2,191

$$M_0=1{,}91 \text{ л/сек с 1 км}^2$$

$$\lambda=\frac{-2{,}191}{20}=-0{,}110$$

$$C_v=\sqrt{\frac{(k-1)^2}{n-1}}=\frac{10{,}355}{20}=0{,}72$$

$$\sigma_{C_v}=22\%$$

Вторая теоретическая кривая, построенная при $C_s=2C_v$, также близко располагается к наблюденным точкам, а в зоне обеспеченности 10—90% обе кривые почти сливаются. Обеспеченные расходы Q_p, вычисленные по этим двум кривым, практически одинаковы. Разница между расходами 95—99%-ной обеспеченности не выходит за пределы 1—4%.

Для решения поставленной задачи воспользуемся тремя способами определения параметров кривой обеспеченности — способом моментов, наибольшего правдоподобия и графо-аналитическим.

Вычисление двумя первыми способами сведены в табл. 4.12

Среднее значение годового модуля стока за 21 год наблюдений $M_0=1{,}91$ *л/сек* с 1 *км*². По формуле (4.1) способом моментов получаем $C_v=0{,}72$; средние квадратические ошибки по формулам (3.5) и (4.3) $\sigma_{M_0}=16\%$, $\sigma_{C_v}=22\%$.

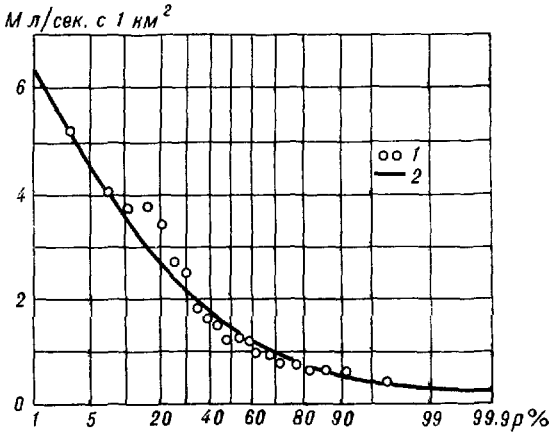


Рис. 4.6. Кривые обеспеченности годового стока р. Илека у г. Актюбинска.

n=21, $C_v=0{,}72$, $C_s=2C_v$; *1* — эмпирическая кривая, *2* — теоретическая.

Способом наибольшего правдоподобия по формуле (4.4) получаем $\lambda=-0{,}110$, которому по табл. 4.3 при $C_s=2C_v$ соответствует $C_v=0{,}69$ и по табл. 4.4 $\sigma_{C_v}=15\%$.

В обоих случаях получены практически одинаковые значения C_v. Разница между ними меньше их ошибок.

Ряд наблюдений короткий, и поэтому значение C_s не вычисляем, а принимаем $C_s=2C_v$, как рекомендуется для рек степных районов.

На рис. 4.6 приводятся эмпирическая и теоретическая кривая обеспеченности при $C_v=0{,}72$ и $C_s=2C_v$. Теоретическая кривая достаточно хорошо согласуется с наблюденными точками.

Для определения параметров графо-аналитическим способом по эмпирическим точкам проведена сглаженная кривая обеспеченности (кривая не приводится). По трем ее ординатам $M_{5\%}=5{,}30$; $M_{50\%}=1{,}37$ и $M_{95\%}=0{,}52$ с помощью формулы (4.9) получен коэффициент скошенности $S=0{,}64$. В табл. 4.7 значению $S=0{,}64$ соответствует $C_s=2{,}30$. Затем по формулам (4.10), (4.11), (4.13) и табл. 4.7 получены $\sigma_M=1{,}67$, $M_0=1{,}94$ *л/сек* с 1 *км*² и $C_v=0{,}86$.

В табл. 4.13 приводятся значения годовых модулей стока разной обеспеченности, вычисленные по параметрам, установленным тремя способами.

Модульные коэффициенты k_p в первых двух случаях при $C_s=2C_v$ установлены по приложению 7, где учитываются сотые знаки C_v. В третьем случае для определения k_p пользовались и приложением 8, так как $C_s>C_v$, а $C_v>0{,}5$, применяя интерполяцию по C_v и C_s.

Таблица 4 13

Значения модулей годового стока р. Илека у г. Актюбинска, вычисленные разными методами по ряду наблюдений за 21 год

$F=11\,000$ *км*²

	Обеспеченность p%						
	50	75	80	90	95	97	99
	$M_0=1{,}91$, $C_v=0{,}72$, $C_s=2C_v$						
k_p	0,837	0,474	0,406	0,259	0,168	0,129	0,069
M_p *л/сек с 1 км*²	1,60	0,91	0,78	0,49	0,32	0,25	0,13
	$M_0=1{,}91$, $C_v=0{,}69$, $C_s=2C_v$						
k_p	0,850	0,496	0,427	0,280	0,188	0,145	0,081
M_p *л/сек с 1 км*²	1,62	0,95	0,82	0,54	0,36	0,28	0,15
	$M_0=1{,}94$; $C_v=0{,}86$, $C_s=2{,}30$						
k_p	0,75	0,41	0,35	0,23	0,19	0,14	0,07
M_p *л/сек с 1 км*²	1,46	0,80	0,68	0,45	0,37	0,27	0,14

Как видно из табл. 4.13, во всех трех случаях получены близкие значения окончательных величин годового стока. Предпочтение нужно отдать результатам расчета при параметрах $M_0=1{,}91$ *л/сек* с 1 *км*², $C_v=0{,}72$ и $C_s=2C_p$, которые соответствуют их многолетним значениям (см. пример 3.4). Другие способы расчета подтверждают основной расчет.

Пример 4.3. Определить коэффициенты вариации и значения годового стока разной обеспеченности р. Оми у г. Калачинска ($F=52\,800$ *км*²), пользуясь методами моментов, наибольшего правдоподобия и графо-аналитическим.

На р. Оми у г. Калачинска имеется 30-летний ряд наблюдений над стоком, включая 1967 г. Годовой сток этой реки, расположенной в засушливой зоне, имеет большую изменчивость и высокое значение коэффициента вариации.

Расчеты C_v способами моментов и наибольшего правдоподобия сведены в таблицу, подобную табл. 4 12.

Среднее значение годового модуля стока за 30 лет наблюдений $M_0=1{,}20$ *л/сек* с 1 *км*².

По формуле (4.1) способом моментов $C_v=0{,}82$, по формуле (4.4) коэффициент $\lambda=-0{,}077$, которому по табл. 4.3 при $C_s=2C_v$ соответствует $C_v=0{,}58$. Их средние квадратические ошибки в первом случае по формуле (4.3) $\sigma_{C_v}=20\%$ во втором по табл. 4.4 $\sigma_{C_v}=12\%$. При $C_v=0{,}82$ ошибка 30-летней средней величины по формуле (3.5) $\sigma_{M_0}=15\%$.

Приняв в обоих случаях $C_s=2C_v$, как установлено для рек данного района К. П. Воскресенским, построены совмещенные теоретические и

эмпирические кривые обеспеченности (рис. 4.7). Из этого рисунка видно, что теоретическая кривая при $C_v=0{,}82$ в общем удовлетворяет наблюденным данным, тем более в нижней части кривой ($p \geqslant 75\%$), которая чаще используется в практике. Кривая при $C_v=0{,}58$, полученном способом наибольшего правдоподобия, не характеризует колебания данного статистического ряда годового стока, она пересекает эмпирическую кривую в одной точке и свидетельствует о заниженном значении C_v.

Для определения параметров кривой обеспеченности графо-аналитическим способом на рис. 4.8 нанесены наблюденные точки, по которым проведена

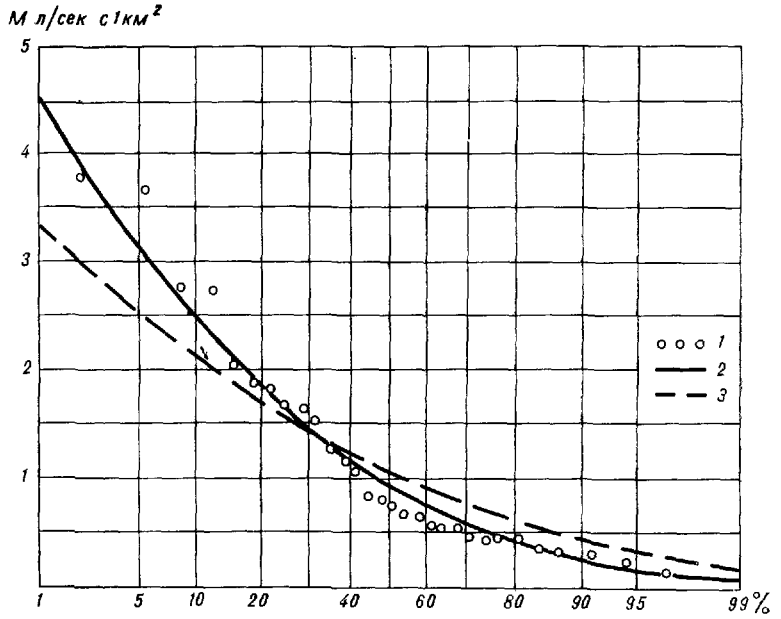


Рис. 4.7. Кривые обеспеченности годового стока р. Оми у г. Калачинска.

1 — эмпирическая кривая, *2* — $C_v=0{,}82$ и *3* — $C_v=0{,}58$ и $C_s=2C_v$; $n=30$, $M_0=1{,}20$ *л/сек* с 1 *км*².

сглаженная эмпирическая кривая обеспеченности. С этой кривой сняты ординаты $M_{5\%}=3{,}45$, $M_{50\%}=0{,}80$ и $M_{95\%}=0{,}22$.

Затем по формулам (4.9)—(4.12) и табл. 4.7 установлены параметры $S=0{,}64$, $C_s=2{,}30$, $\sigma_M=1{,}13$, $M_0=1{,}18$ *л/сек* с 1 *км*², $C_v=0{,}96$.

На рис. 4.9 нанесена теоретическая кривая обеспеченности при $C_v=0{,}96$ и $C_s=2{,}30$, ординаты которой установлены по приложению 8 интерполяций по C_v и C_s. Эта кривая достаточно хорошо соответствует наблюденным точкам и также может быть принята в качестве расчетной.

Ниже приводятся значения модулей годового стока разной обеспеченности, вычисленные по параметрам, установленным способом моментов и графо-аналитическим способом.

Из табл. 4.14 видно, что в обоих случаях получены близкие значения расчетных величин годового стока. Разница коэффициентов вариации не велика и несколько скомпенсирована разницей коэффициентов асимметрии и средних величин модулей стока. Основанием для того чтобы принять параметры кри-

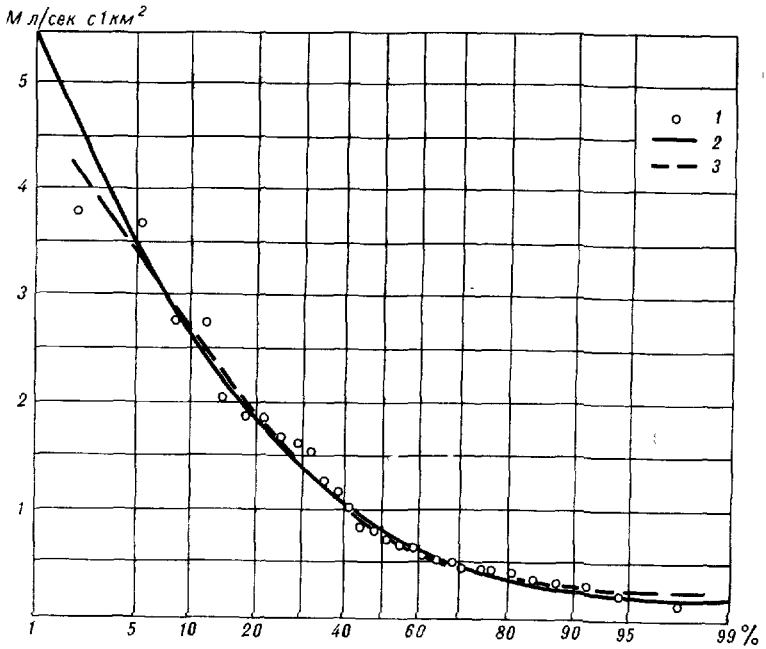


Рис. 4.8. Кривые обеспеченности годового стока р. Оми у г. Калачинска.

1 — эмпирическая кривая, *2* — эмпирическая сглаженная, *3* — теоретическая при $C_v=0{,}96$ и $C_s=2{,}30$.
$n=30$, $M_0=1{,}18$ *л/сек* с 1 *км²*

вых обеспеченностей, вычисленные двумя способами, в качестве расчетных является соответствие теоретических кривых данным наблюдений.

Таблица 4.14

Модули годового стока разной обеспеченности р. Оми у г. Калачинска, вычисленные по 30-летнему ряду наблюдений

$F=52\,800$ *км²*

	Обеспеченность p%						
	50	75	80	90	95	97	99
	$M_0=1{,}20$, $C_v=0{,}82$, $C_s=2C_v$						
k_p	0,79	0,40	0,34	0,20	0,11	0,08	0,04
M_p *л/сек* с 1 *км²*	0,95	0,48	0,41	0,24	0,13	0,09	0,05
	$M_0=1{,}18$, $C_v=0{,}96$, $C_s=2{,}30$						
k_p	0,72	0,37	0,28	0,16	0,11	0,07	0,04
M_p *л/сек* с 1 *км²*	0,85	0,44	0,33	0,19	0,13	0,08	0,04

Отметим, что в монографии Воскресенского приняты многолетние значения $C_v=0{,}79$, $C_s=2C_v$ и $M_0=1{,}1$, т. е. очень близкие вычисленным по 30-летнему ряду наблюдений. Поэтому нет оснований приводить вычисленные в данном примере параметры к многолетнему периоду, хотя средняя квадратическая ошибка нормы стока и превышает допустимые пределы.

Пример 4.4. Привести коэффициент вариации годового стока р. Кеть у д. Родионовки к многолетнему периоду графо-аналитическим способом по формуле (4.16).

На р. Кеть у д. Родионовки ($F=71\,500$ *км*^{2}) имеется короткий ряд наблюдений (1955—1965 гг.). Средний годовой модуль стока за этот период $M_{o\,v}=6{,}82$ *л/сек* с 1 *км*^{2}, а коэффициент вариации $C_v=0{,}19$.

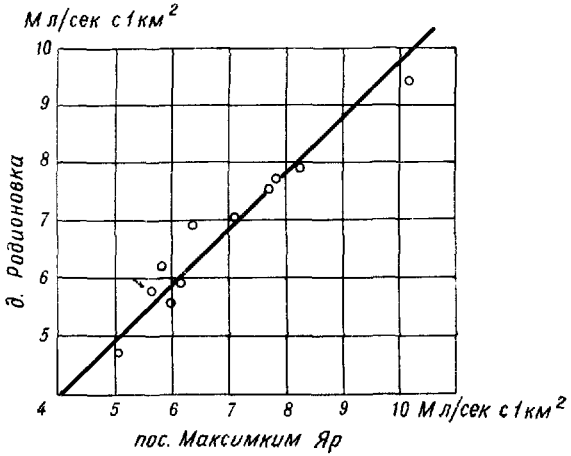


Рис. 4.9. График связи годовых модулей стока р. Кеть у д. Родионовки и у пос. Максимкин Яр

$r=0{,}98$; $\operatorname{tg}\alpha=0{,}96$.

Аналогом для рассматриваемого створа принимается створ у пос. Максимкина Яра на этой же реке ($F=38\,400$ *км*^{2}), который служит опорным пунктом в таежной зоне бассейна Средней Оби с редкой сетью наблюдений. Годовые расходы в створе-аналоге имеются за 1937—1965 гг.: за 29-летний период норма стока $M_0=6{,}33$ *л/сек* с 1 *км*^{2}, $C_v=0{,}21$.

За 11-летний период одновременных наблюдений в обоих створах построен график связи годовых модулей стока (рис. 4.9), связь прямолинейная, тесная, коэффициент корреляции ее $r=0{,}98$. Тангенс угла наклона прямой связи к оси модулей стока пункта-аналога равен 0,96. Норма годового стока р. Кеть у д. Родионовки, снятая с графика связи непосредственно по норме стока пункта-аналога $M_0=6{,}33$ *л/сек* с 1 *км*^{2}, равна 6,25 *л/сек* с 1 *км*^{2}.

Пользуясь формулой (4.16), получим коэффициент вариации годового стока р. Кеть у д. Родионовки, приведенный к многолетнему периоду

$$C_v=0{,}21\,\frac{6{,}33}{6{,}25}\cdot 0{,}96=0{,}20.$$

Полученное значение $C_v=0{,}20$ практически очень мало отличается от вычисленного по 11-летнему ряду. Объясняется это тем, что годовой сток рек рассматриваемого района имеет малую изменчивость, а 11-летний период наблюдений на р. Кеть у д. Родионовки близок по водности к многолетнему.

Пример 4.5. Привести к многолетнему периоду коэффициент вариации годового стока р. Унжи у г. Мантурово, где имеется короткий (18 лет) ряд наблюдений (1949—1966 гг.) и вычисленные по этому ряду $M_{ср}=8{,}83$ *л/сек* с 1 *км*^{2} и $C_v=0{,}31$.

В качестве аналога примем створ у г. Макарьева на этой же реке, где ряд наблюдений составляет 71 год (1896—1966 гг.), многолетние значения $M_0=8{,}49$ *л/сек* с 1 *км*^{2} и $C_v=0{,}28$ со среднеквадратическими ошибками $\sigma_{M_0}=3{,}3\%$ и $\sigma_{C_v}=10\%$.

За 18-летний период параллельных наблюдений в двух створах (1949—1966 гг.) у г. Макарьева получены $M_{ср}=9{,}22$ *л/сек* с 1 *км*^{2}, $C_v=0{,}34$, $\sigma_{M_{ср}}=8\%$.

Связь годовых модулей стока в двух створах за 18-летний период параллельных наблюдений (см. рис. 3.8) прямолинейная и тесная; коэффициент корреляции $r=0{,}96$ и тангенс угла наклона относительно оси модулей стока пункта-аналога $\operatorname{tg}\alpha=0{,}92$. Норма годового стока для створа Мантурово, установленная по этому графику, составляет 8,10 *л/сек* с 1 *км*^{2}.

Приведение выполним несколькими способами.

1. Графо-аналитическим способом Г. А. Алексеева (см расчеты в примере 3.3) получено: $M_0=7{,}95$ *л/сек* с 1 *км*^{2}, $C_{vN}=0{,}28$, $C_s=1{,}0$.

2. По формуле (4.15)

$$C_{vN}=\frac{0{,}31}{\sqrt{1-0{,}96^2\left(1-\dfrac{0{,}34\cdot 9{,}22}{0{,}28\cdot 8{,}49}\right)^2}}\cdot\frac{8{,}83}{8{,}10}=0{,}26.$$

3. По формуле (4.16)

$$C_{vN}=0{,}28\,\frac{8{,}49}{8{,}10}\cdot 0{,}92=0{,}27.$$

4. По формуле (4.17)

$$C_{vN}=0{,}28\,\frac{8{,}49}{8{,}10}=0{,}29.$$

Во всех четырех случаях получены достаточно близкие значения C_{vN}, приведенные к многолетнему периоду.

Пример 4.6. Привести коэффициент вариации годового стока р. Эмбы у аула Аралтобе к многолетнему значению и вычислить значения ее годового стока разной обеспеченности.

Бассейн р. Эмбы находится в засушливой зоне с большой изменчивостью годового стока. Наблюдения над стоком у аула Аралтобе имеются за 1951—1962 гг. Средний модуль стока за эти 12 лет составляет 0,39 *л/сек* 1 *км*^{2}, а коэффициент вариации, вычисленный способом моментов по формуле (4.1), равен 0,65.

Приведение C_v к многолетнему значению выполним графо-аналитическим способом по формуле (4.16) и способом Г. А. Алексеева.

Аналогом р. Эмбы, как и в примере 3.4, принимаем р. Илек у г. Актюбинска, где многолетние значения $M_0=1{,}90$ *л/сек* с 1 *км*^{2}, $C_v=0{,}72$, $C_s=2C_v$.

По графику связи годовых модулей стока (см. рис. 3.13) норма стока р. Эмбы у аула Аралтобе установлена равной 0,46 *л/сек* с 1 *км*^{2}. Тангенс угла наклона прямой связи относительно оси модулей реки-аналога равен 0,27.

Таким образом, установив необходимые исходные данные, коэффициент вариации годового стока р. Эмбы у аула Аралтобе, приведенный к многолетнему периоду по реке-аналогу Илек у г. Актюбинска, пользуясь формулой (4.16), получим равным

$$C_{vN}=0{,}72\,\frac{1{,}90}{0{,}46}\cdot 0{,}27=0{,}80.$$

Для решения поставленной задачи способом Алексеева с кривой обеспеченности годового стока р. Илека у г. Актюбинска (см. рис. 4.7) сняты три характерные ординаты $M_{5\%}=4{,}58$, $M_{50\%}=1{,}5$ и $M_{95\%}=0{,}48$ *л/сек* с 1 *км*^{2}.

Затем с графика связи годовых модулей стока расчетной реки и реки-аналога (см. рис. 3.13) снимаем соответственные многолетние значения модулей стока р. Эмбы $M_{5\%}=1{,}18$, $M_{50\%}=0{,}38$ и $M_{95\%}=0{,}08$ *л/сек* с 1 *км*^{2}.

По этим трем характерным ординатам, пользуясь формулами (4.9)—(4.12) и табл. 4.8, установлены $S=0{,}45$, $C_s=1{,}60$, $\sigma_M=0{,}36$, $M_0=0{,}47$ и $C_v=0{,}76$.

Таким образом, в обоих случаях получены почти одинаковые многолетние значения параметров кривой обеспеченности годового стока р. Эмбы у аула Аралтобе: в первом случае $M_0=0{,}46$ *л/сек* с 1 *км*^{2}, $C_v=0{,}80$, $C_s=2C_v=1{,}60$ (по аналогии); во втором — $M_0=0{,}47$ *л/сек* с 1 *км*^{2}, $C_v=0{,}76$, $C_s=1{,}60\approx 2C_v$, которые можно принять в качестве расчетных. Вычисления значений модулей годового стока разной обеспеченности выполнены с помощью приложения 7 без построения кривых обеспеченности (табл. 4.15).

Таблица 4.15

Значения модулей годового стока разной обеспеченности р. Эмбы у аула Аралтобе, вычисленные по параметрам, приведенным к многолетнему периоду

	Обеспеченность $p\%$						
	50	75	80	90	95	97	99
	$M_0=0{,}46$, $C_v=0{,}80$, $C_s=2C_v$						
k_p	0,800	0,416	0,352	0,208	0,120	0,088	0,040
M_p *л/сек* с 1 *км*^{2}	0,368	0,191	0,162	0,096	0,055	0,041	0,018
	$M_0=0{,}47$, $C_v=0{,}76$, $C_s=2C_v$						
k_p	0,818	0,445	0,379	0,234	0,144	0,108	0,054
M_p *л/сек* с 1 *км*^{2}	0,374	0,208	0,175	0,110	0,068	0,051	0,025

В табл. 4.15 обращает на себя внимание относительная разница конечных результатов расчета. При почти одинаковых значениях параметров кривых обеспеченности модули годового стока обеспеченностью 90—99% во втором случае на 15—39% выше их значений, полученных в первом случае. В основном эта разница получена за счет разницы коэффициентов вариации, которая хотя и не велика по абсолютной величине, но при большом его значении существенно сказывается в нижней части кривой обеспеченности.

Пример 4.7. Определить коэффициент вариации и обеспеченные значения годового стока р. Васюгана у д. Наунак ($F=58\,300$ *км*^{2}) при отсутствии данных наблюдений.

Решить поставленную задачу можно двумя способами: 1) по картам изолиний нормы и коэффициента вариации годового стока и 2) способом гидрологической аналогии.

1. На рис. 3.18 (пример 3.5) представлен бассейн р. Васюгана, замыкаемый створом у д. Наунак, на котором нанесены изолинии нормы и коэффициента вариации годового стока. Норма годового стока, установленная по карте изолиний в примере 3.5, равна $M_0=5{,}10$ *л/сек* с 1 *км*^{2} или $Q_0=297$ *м*^{3}*/сек*. Пользуясь картой (см. рис. 3.18), по формуле (3.17) получим

$$C_v=\frac{15\,760\cdot 0{,}35+25\,530\cdot 0{,}275+17\,010\cdot 0{,}225}{58\,300}=0{,}28.$$

Значения коэффициентя асимметрии годового стока рек района Средней Оби принимаются равными удвоенному значению коэффициента вариации.

Тогда по вычисленным $Q_0=297$ *м*³/*сек*, $C_v=0{,}28$ и $C_s=2C_v$, пользуясь приложением 7, получим значения годовых расходов воды разной обеспеченности р. Васюгана у д Наунак (табл. 4.16).

Таблица 4 16

Расходы воды разной обеспеченности р. Васюгана у д. Наунак

	Обеспеченность *p*%						
	50	75	80	90	95	97	99
k_p	0,973	0,799	0,762	0,663	0,591	0,546	0,468
Q_p *м*³/*сек*	288	237	226	197	175	162	139

2. В качестве аналога для р. Васюгана у д. Наунак примем створ на этой же реке у с. Средний Васюган с площадью водосбора 31 700 *км*². В этом створе имеются наблюдения над годовым стоком за 28 лет, включая 1965 г; $M_0=5{,}07$ *л*/*сек* с 1 *км*², $C_v=0{,}27$, $C_s=2C_v$.

По картам M_0 и C_v (см. рис. 3.19) видно, что на участке между створами Средний Васюган и д. Наунак эти параметры не подвержены существенным изменениям, что дает основание перенести их со створа-аналога на расчетный створ без изменений, т. е. принять $M_0=5{,}07$ *л*/*сек* с 1 *км*², $C_v=0{,}27$ и $C_s=2C_v$. Величины годового стока разной обеспеченности р. Васюгана у д. Наунак, полученные при этих значениях расчетных параметров, приведены в табл. 4.17.

Таблица 4.17

Значения годового стока р. Васюгана у д. Наунак различной обеспеченности

	Обеспеченность *p*%						
	50	75	80	90	95	97	99
k_p	0,975	0,806	0,770	0,674	0,604	0,560	0,483
M_p *м*³/*сек* с 1 *км*²	4,95	4,09	3,90	3,42	3,06	2,84	2,45
Q_p *л*/*сек*	289	238	228	200	178	166	143

В обоих случаях получены почти одинаковые величины обеспеченных расходов воды.

Глава 5

УСТАНОВЛЕНИЕ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА

Установить распределение стока в течение года — задача сложная, так как внутригодовой ход стока зависит как от климатических, так и от физико-географических условий. Наиболее трудно установить распределение стока малых неизученных рек, на которых оно зависит от местных физико-географических факторов (рельефа, растительности, гидрогеологических условий, озерности и пр.). В связи с этим основным методом определения внутригодового распределения стока неизученных рек является метод гидрологической аналогии.

§ 5.1. РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА ПРИ НАЛИЧИИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

В качестве модели ожидаемого (расчетного) распределения стока часто принимают реальное распределение стока: а) многоводного года, б) среднего по водности года, в) маловодного года, г) года с минимальными расходами за летнюю или зимнюю межень.

Распределение стока по месяцам внутри года обычно выражается в долях от суммы средних годовых расходов того года, для которого устанавливается распределение стока.

Характерные по водности годы подбираются по имеющимся материалам фактических наблюдений на исследуемом водотоке.

В качестве расчетного распределения среднего по водности года принимается год с объемом стока, близким к среднему, и с гидрографом, возможно ближе соответствующим среднему ходу стока. Это соответствие устанавливается путем сопоставления средних месячных расходов воды года, принимаемого за модель распределения, со средними месячными расходами.

В качестве моделей внутригодового распределения стока в маловодные или многоводные годы принимается распределе-

ние стока тех реальных лет, величина годового стока которых возможно ближе соответствует величине годового стока маловодного или многоводного года заданной обеспеченности.

В качестве расчетного распределения стока по месяцам иногда принимается среднее распределение за многолетний период.

В некоторых случаях распределение стока в году характеризуют типовым гидрографом, построение которого основывается на осреднении генетически однородных фаз стока, например, весеннего половодья, летней и зимней межени, летних и осенних паводков. При построении типового гидрографа по средним месячным или декадным расходам воды очертание его получает обычный ступенчатый вид.

Описанные способы определения внутригодового распределения стока имеют существенные недостатки, заключающиеся в том, что распределение стока по фактическим данным одного года, принимаемого в качестве расчетного, содержит индивидуальные особенности, присущие только этому году, а среднее распределение по всем годам получается сглаженным (фиктивным). Поэтому более правильным является составление (компановка) *такого расчетного внутригодового распределения стока*, которое соответствовало бы основному требованию водохозяйственного проектирования — получению гарантированной отдачи воды. При этом гарантированная отдача назначается в проекте в зависимости от вида потребления воды и степени допустимости перебоев в ее подаче (см. стр. 237).

Метод компановки впервые был разработан Г. И. Швецом для рек Украинской ССР в соответствии с предложением А. В. Огиевского. По этой схеме год разделяется лишь на три сезона: весна, лето—осень и зима. Обеспеченность стока двух сезонов (критический период) в зависимости от задач проектирования принимается равной обеспеченности года, а сток третьего сезона определяется как разность между стоком за год и суммарным стоком за два сезона.

Наряду с достоинствами этой расчетной схемы, главным из которых является то, что в ней учитывается основное требование проектирования, она обладает и рядом недостатков. Основной недостаток заключается в том, что обеспеченность, равная обеспеченности года, задается сразу для двух сезонов из трех. Это приводит к тому, что сток нелимитирующего сезона, вычисляемый как разность величин стока за год и суммарного стока за два сезона одинаковой обеспеченности, оказывается более редкой повторяемости, чем в случае его определения как разности между годовым стоком и стоком одного сезона.

Учитывая это обстоятельство, В. Г. Андреянов разработал метод расчета внутригодового распределения стока, пригодный для любых физико-географических условий и для любых задач проектирования. Расчетная модель распределения стока

компануется, по Андреянову, исходя из условий равенства обеспеченности стока за год и лимитирующий сезон. Получаемое по этой схеме расчетное распределение, как показали исследования, является вполне реальным. Основанием для этого является следующее.

Расход гарантированной отдачи (зарегулированной) при заданной емкости регулирования (рис. 5.1) может быть представлен в виде

$$\alpha = k_{кр} + \frac{\beta}{T_{кр}} = \frac{1}{T_{кр}}(W_{кр} + \beta), \qquad (5.1)$$

где α — гарантированная отдача в долях от среднего многолетнего расхода; $W_{кр}$ и $k_{кр}$ — объем стока и средний расход критического периода в долях от среднего многолетнего расхода; β — емкость регулирования в долях от среднего годового объема стока; $T_{кр}$ — продолжительность критического периода в долях года.

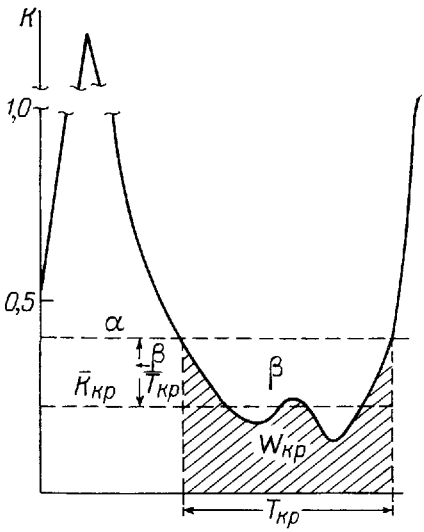


Рис. 5.1. К обоснованию метода определения внутригодового распределения стока, равнообеспеченного по критическим периодам года.

Величина $T_{кр}$ зависит от величины емкости сезонного регулирования и может изменяться от одного месяца при β, близком к нулю (при отсутствии регулирования), до продолжительности всей межени при величине β, обеспечивающей полное годовое регулирование. При каждом данном значении β величина $T_{кр}$ колеблется из года в год незначительно. Поэтому при заданном β величину $T_{кр}$ можно с достаточной степенью приближения принять за постоянную, а обеспеченность отдачи принять равной обеспеченности объема стока критического периода при любой степени сезонного регулирования до полного годового включительно, т. е.

$$p(\alpha) \cong p(W_{кр}). \qquad (5.2)$$

Отсюда следует, что для получения гарантированной отдачи воды заданной обеспеченности при любой степени сезонно-годового регулирования стока следует принимать такое расчетное внутригодовое распределение стока, при котором обеспеченность стока за год, за лимитирующий период и внутри него за лимитирующий сезон года равна заданной обеспеченности.

Составление расчетного внутригодового распределения стока по методу Андреянова при наличии гидрометрических наблюдений сводится к следующему.

Год делится на три сезона (например, весенний, летне-осенний и зимний), из которых два маловодных сезона (например, летне-осенний и зимний) объединяются в один лимитирующий период (период, в который естественный сток может лимитиро-

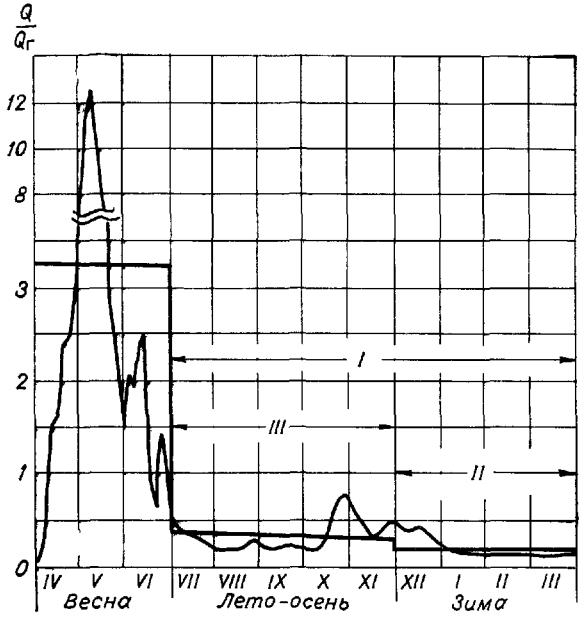


Рис. 5 2. Разделение гидрографа стока реки на сезоны.

I — лимитирующий период, *II* — лимитирующий сезон, *III* — нелимитирующий сезон.
р. Унжа — г. Макарьев, 1947-48 г.

вать водопотребление). Внутри этого периода один из сезонов (например, зимний) принимается за лимитирующий сезон. Схема разделения года на сезоны приведена на рис. 5.2.

Сток за год, лимитирующий период и внутри него за лимитирующий сезон принимается с одинаковой обеспеченностью, равной заданной по условиям проектирования обеспеченности гарантированной отдачи воды. При этом сток за нелимитирующий период (многоводный сезон) определяется по разности величин стока за год и лимитирующий период (маловодный), а сток нелимитирующего сезона по разности величин стока за лимитирующий период и лимитирующий сезон.

Таким образом, распределение стока для заданной обеспеченности производится раздельно: сначала по сезонам, а затем внутри сезонов (по месяцам или декадам).

Расчет внутригодового распределения стока (в процентах от стока года, выраженного в $м^3/сек$) выполняется путем перемножения данных о распределении стока по сезонам и о внутрисезонном распределении.

Внутрисезонное распределение стока по месяцам (декадам) принимается осредненным для каждой группы водности рассматриваемого сезона, соответствующей обеспеченности его стока.

Распределение стока по месяцам внутри какого-либо сезона определяется следующим образом. Месячные величины стока данного сезона за каждый год располагаются в порядке убывания. Полученный ряд разбивается на три группы водности: многоводная (обеспеченность 1—33%), средняя (обеспеченность 34—66%) и маловодная (обеспеченность 67—100%). В пределах отдельных групп производится осреднение месячных расходов одинакового номера в порядке убывания. Каждому полученному среднему значению приписывается тот календарный месяц, который для данного номера встречается наиболее часто. Далее, в пределах каждой группы подсчитывается относительное распределение стока по месяцам в процентах от величины стока за данный сезон.

Рассчитанные по кривым обеспеченности или по разностям величины сезонного стока распределяются по месяцам соответственно полученному процентному распределению.

При небольших различиях в распределении стока для разных градаций водности сезона принимается единое общее распределение стока для всех сезонов.

Внутригодовое распределение стока составляется при наличии данных наблюдений на рассматриваемой реке за период не менее 10—12 лет и при условии, что этот период включает как маловодные, так и многоводные и средневодные годы.

Расчет внутригодового распределения стока ведется по водохозяйственным годам (т. е. начинающимся с многоводного сезона), а сроки сезонов принимаются едиными для всех лет ряда наблюдений с округлением их до целого месяца.

Лимитирующий период, сезон и месяц назначаются в зависимости от типа внутригодового режима стока. Для рек с весенним половодьем в качестве основных сезонов принимаются: весна, лето—осень и зима; для рек с летним половодьем: лето, осень—зима и весна; для рек с весенне-летним половодьем, весна—лето, осень и зима.

Примерные сроки основных сезонов для разных районов СССР приводятся в табл. 5.1.

Для рек с весенним половодьем за лимитирующий период обычно принимаются оба маловодных сезона (лето—осень и зима), а за лимитирующий сезон — лето—осень или зима в зависимости от вида основного водопотребления. При преобладa-

нии водопотребления на сельскохозяйственные нужды за лимитирующий сезон следует принимать лето—осень, а при преобладании гидроэнергетики — зиму.

Для высокогорных рек с летним половодьем при преимущественно ирригационном использовании стока за лимитирующий период следует принимать осень—зиму и весну, а за лимитирующий сезон — весну.

При осушении болот и заболоченных земель за лимитирующий период принимается многоводная часть года, например, весна и лето—осень, а за лимитирующий сезон — более многоводный из обоих сезонов, составляющих этот период.

Преимуществом метода компановки расчетного внутригодового распределения стока по сравнению с другими является более эффективное использование материалов по внутригодовому режиму стока, позволяющее для сравнительно короткого ряда (порядка 10 лет) получить достаточно надежные результаты.

Отметим, что схема составления расчетного межсезонного распределения стока удовлетворяет требованиям водохозяйственного проектирования — она проста, не содержит в себе индивидуальных особенностей отдельных лет и применима как для разных типов внутригодового режима, так и для разных видов использования стока и степени его регулирования. Однако это распределение является несколько схематизированным, так как дается лишь по месячным и частично (для весны) по декадным интервалам.

Метод Андреянова вошел в «Указания по определению расчетных величин годового стока и его внутригодового распределения (СН 371-67).

Пример 5.1. Требуется определить характеристики расчетного внутригодового распределения стока р. Бабка (приток р. Чусовой) у с. Балалы за 27-летний период наблюдений (1933—1941 и 1948—1965 гг.) для четырех групп водности года: многоводной (25%), средней (50%), маловодной (75%) и очень маловодной (95%). Площадь водосбора $F=1980$ км^2.

Подсчитываем сумму месячных расходов воды за год и по каждому сезону за отдельные годы и за многолетний период. Средние многолетние величины сумм месячных расходов вписываем в графу 4 табл. 5.2 и по ним устанавливаем распределение стока по сезонам в процентах от годового стока (графа 5).

По годовым и сезонным суммам месячных расходов, расположенным в убывающем порядке, подсчитываем общеизвестным способом величины коэффициентов вариации годового и сезонного стока и вписываем их в графу 2 табл. 5.2. По условию наилучшего соответствия теоретической кривой обеспеченности эмпирическим точкам (кривые не приводятся) определяем величины коэффициента асимметрии, которые записываются в графу 3 табл. 5.2.

По данным, внесенным в графы 1—5, производим расчет распределения стока по сезонам года для заданных четырех групп водности года. Для этой цели по значениям нормы, C_v и C_s определяем суммы месячных расходов для года и лимитирующего периода (межени) и сезона (зимы), соответствующие заданным обеспеченностям (25, 50, 75 и 95%), и записываем их в графы

Таблица 5.1

Примерные сроки (числитель) и продолжительность основных гидрологических сезонов (число месяцев — в знаменателе) в разных районах СССР

Район	Зимне-весенний	Весенний	Весенне-летний	Летний	Летне-осенний	Осенний	Осенне-зимний	Зимний
Европейская часть СССР								
Крайний Север (севернее 64° с. ш.)		V—VII / 3			VIII—XI / 4	—		XII—VI / 5
Лесная зона (севернее 56° с. ш. и восточнее 30° в. д.)		IV—VI / 3			VII—XI / 5			XII—III / 4
Южная часть лесной зоны и лесостепная зона (севернее 49° с. ш.)		III—V / 3			VI—XI / 6			XII—II / 3
Степная зона (южнее 49° с. ш.) и юго-западная часть Прибалтики (южнее 57° с. ш. и западнее 24° в. д.)		II—VI / 3			V—XI / 7			XII—I / 2
Реки Прикарпатья и Закарпатья		III—V / 3			VI—XI / 6			XII—II / 3
Горные реки Крыма	XII—V / 6			VI—VIII / 3		IX—XI / 3		

Район	Зимне-весенний	Весенний	Весенне-летний	Летний	Летне-осенний	Осенний	Осенне-зимний	Зимний
Азиатская часть СССР								
Центральный и Северный Казахстан		IV—V / 2			VI—XI / 6			XII—III / 4
Западная Сибирь			IV—VII / 4		VIII—IX / 4			XII—III / 4
Восточная Сибирь, Дальний Восток			V—IX / 5			X—XI / 2		XII—IV / 5
Дальний Восток (бассейн р Амура)			IV—IX / 6			X—XI / 2		XII—III / 4
Горные реки Кавказа и Средней Азии			III—VI / 4		VII—XI / 5		X—II / 5	XII—II / 3
Высокогорные реки Кавказа и Средней Азии		III—IV / 2		V—IX / 5				

Таблица 5.2

Расчет распределения стока по сезонам для лет различной водности

р. Бабка — с. Балалы

Сезон	C_v	C_s	Средние значения		Многоводный			Средний			Маловодный			Очень маловодный		
			$м^3/сек$	%	$м^3/сек$	p%	%	$м^3/сек$	p%	%	$м^3/сек$	p%	%	$м^3/сек$	p%	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Год	0,30	0,70	202,3	100	236	25	100	195	50	100	158	75	100	116	95	100
Весна (IV—VI)	0,29	1,0	147,0	72,7	166,5	25	70,6	144	50	73,6	122	75	76,9	95	95	81,9
Лимитирующий период (межень VII—III)	0,47	1,0	55,3	27,3	69,5	25	29,4	51,0	50	26,4	36,5	75	23,1	21,0	95	18,1
Лето—осень (VII—XI) . .	0,51		37,9	18,7	47,9	25	20,3	34,3	50	17,9	24,0	75	15,2	13,4	95	11,5
Лимитирующий сезон (зима XII—III) . . .	0,39	0,6	17,4	8,6	21,6	25	9,1	16,7	50	8,5	12,5	75	7,9	7,6	95	6,6

6, 9, 12 и 15. Величины для весеннего сезона в тех же графах вычисляем по разности соответственных величин для года и лимитирующего периода (межени), а для лета—осени — по разности величин расходов для лимитирующего периода (межени) и сезона (зимы).

По найденным значениям расходов для года и сезонов определяем соответственные величины относительного распределения стока по сезонам года (графы 8, 11, 14 и 17 табл. 5.2).

Для расчета внутрисезонного распределения стока составляется табл. 5.3, в которой выделены три группы водности сезонов (многоводная, средняя и маловодная) по одинаковому числу лет (девять). Для каждой группы водности располагаем величины месячных расходов внутри каждого сезона (в том числе отдельно внутри лета и осени) в порядке убывания и около каждого расхода выписываем соответствующий ему календарный месяц.

Путем деления итоговых величин $Q_{мес}$ за каждый месяц на соответствующую итоговую величину за весь сезон находим осредненное процентное распределение стока по месяцам сезона для каждой из трех групп водности. Полученные месячные значения процентного распределения относятся к тому календарному месяцу, который встречается наиболее часто.

В соответствии с данными табл. 5.3 составляется табл. 5.4, в которую перенесены значения расходов по месяцам (в процентах от сезонного стока) для трех групп водности.

Умножая величины внутрисезонного распределения стока, помещенные в табл. 5.4, на величины сезонного стока (в долях от годового) для соответствующей группы водности (графы 8, 11, 14 и 17 табл. 5.2), получаем распределение стока по месяцам (в процентах от годового) для четырех заданных групп водности (табл. 5.5). При этом для очень маловодной группы принимается то же внутрисезонное распределение стока, что и для маловодной.

§ 5.2. РАСЧЕТЫ ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА ПРИ ОТСУТСТВИИ ИЛИ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Распределение стока по сезонам и месяцам. Установление характера внутригодового распределения стока неисследованных рек представляет собой сложную задачу в связи с большим разнообразием физико-географических условий по территории. В этом случае могут быть использованы районные схемы характеристик внутригодового распределения стока, опубликованные в соответствующих выпусках справочника «Ресурсы поверхностных вод СССР».

Основным методом расчета для малых рек является метод аналогии, по которому распределение стока по месяцам определяется на основании данных по рекам, наиболее близким по физико-географическим условиям к рассматриваемым. Для повышения точности результатов, получаемых по этому методу, следует провести одновременное полевое обследование рассматриваемой реки и намеченного аналога. При этом устанавливаются: продолжительность половодья и дождевых паводков, высоты максимального уровня, характер почво-грунтов и растительного покрова, наличие озер, болот, прудов, водохранилищ и пр. и проводятся одновременные гидрометрические наблюдения в течение годового цикла.

Таблица 5.3

Расчет внутрисезонного распределения стока ($Q_{мес}$ $м^3/сек$)

р. Бабка — с. Балалы

№ п/п	год	$\Sigma Q_{мес}$	Весна					
			1		2		3	
			$Q_{мес}$	месяц	$Q_{мес}$	месяц	$Q_{мес}$	месяц
1	1957	216,58	130	V	78,3	IV	8,28	VI
2	1965	160,0	116	V	28,1	IV	15,9	VI
3	1939	150,3	79,8	IV	60,0	V	10,5	VI
4	1949	141,8	87,2	V	28,5	IV	26,1	VI
5	1941	140,85	104,0	V	33,9	VI	(2,95)	IV
6	1958	132,8	87,4	V	34,6	IV	10,8	VI
7	1963	124,9	64,6	IV	49,6	V	10,7	VI
8	1948	122,22	95,6	V	20,1	IV	6,52	VI
9	1955	119,68	67,2	IV	46,5	V	5,98	VI
	Сумма	1309,13	831,8		379,6		97,73	
		100%	63,5	V	29,0	IV	7,5	VI
10	1961	114,09	62,6	V	43,0	IV	8,49	VI
11	1950	113,72	86,1	IV	20,4	V	7,22	VI

12	1940	111,6	66,2	IV	23,1	VI	22,3	V
13	1964	110,3	74,9	V	22,1	VI	13,3	IV
14	1951	104,5	58,7	IV	35,7	V	10,1	VI
15	1938	103,56	57,1	IV	42,5	V	3,96	VI
16	1960	101,39	62,9	IV	32,1	V	6,39	VI
17	1959	101,11	46,8	IV	45,6	V	8,71	VI
18	1937	97,1	43,9	IV	37,2	V	16,0	VI
	Сумма	957,37	559,2		301,7		96,47	
		100%	58,4	IV	31,4	V	10,2	VI
19	1956	93,6	50,7	V	38,4	IV	4,50	VI
20	1962	92,4	63,0	IV	19,3	V	10,1	VI
21	1935	87,7	(42,0)	IV	38,5	V	7,20	VI
22	1934	84,89	49,0	V	31,5	IV	4,39	VI
23	1952	77,58	55,1	V	14,1	V	8,38	VI
24	1953	77,26	41,6	IV	30,9	V	4,76	VI
25	1933	70,34	34,1	V	(33,7)	IV	2,54	VI
26	1954	65,57	35,4	V	26,2	IV	3,97	VI
27	1936	65,46	40,3	IV	21,4	V	3,76	VI
	Сумма	714,8	411,2		254,0		49,6	
		100%	57,5	V	35,6	V	6,9	VI

№ п/п	Лето — осень		Лето						Осень			
			1		2		3		1		2	
	год	$\Sigma Q_{мес}$	$Q_{мес}$	месяц	$Q_{мес}$	месяц	$Q_{мес}$	месяц	$Q_{мес}$	месяц	$Q_{мес}$	месяц
1	1962	66,75	31,5	IX	8,0	VII	5,95	VIII	11,1	X	10,2	XI
2	1948	61,31	17,0	VIII	13,3	VII	6,21	IX	13,2	X	11,6	XI
3	1956	53,14	11,5	VIII	10,1	IX	3,46	VII	19,0	X	9,08	XI
4	1959	42,97	11,5	IX	4,54	VIII	3,11	VII	15,0	X	8,82	XI
5	1965	39,44	6,91	VIII	6,02	VII	5,92	IX	11,1	IX	9,49	X
6	1950	38,94	9,21	VII	7,87	IX	5,28	VIII	12,2	X	4,38	XI
7	1935	36,88	15,9	IX	5,35	VIII	2,89	VII	9,64	X	(3,10)	XI
8	1949	34,69	7,28	VIII	7,05	VII	6,56	IX	8,57	X	5,23	XI
9	1954	32,46	3,85	IX	2,41	VIII	2,12	VII	14,1	XI	9,98	X
	Сумма	406,58	114,65		64,64		41,5		113,91		71,88	
		100 %	28,2	VIII ,IX	15,8	VII	10,2	VII	28,1	X	17,7	XI
10	1957	31,20	7,54	VII	6,10	VIII	4,59	IX	6,58	XI	6,39	X
11	1958	28,65	5,54	VII	5,45	IX	4,50	VIII	7,06	X	6,10	XI
12	1961	23,45	6,88	IX	6,21	VII	4,48	VIII	5,98	X	4,90	XI

13	1963	26,86	5,36	VII	4,43	IX	3,57	VIII	6,77	XI	6,73	X
14	1951	24,11	4,45	VIII	4,42	VII	3,55	IX	7,35	X	4,34	XI
15	1964	23,14	3,69	VII	3,33	VIII	2,98	IX	6,67	X	6,47	XI
16	1960	22,91	4,91	IX	4,31	VII	4,03	VIII	6,04	X	3,62	XI
17	1938	22,37	2,80	VII	2,18	VIII	1,96	IX	9,53	XI	5,90	X
18	1936	22,29	2,58	VII	2,04	IX	1,74	VIII	(13,2)	XI	2,73	X
	Сумма	229,98	43,75		38,47		31,40		69,18		47,18	
		100%	19,1	VII	16,7	VII, VIII IX	13,6	VIII	30,1	X	20,5	XI
19	1941	21,24	4,82	VII	3,06	IX	2,46	VIII	6,11	X	(4,79)	XI
20	1953	19,65	4,07	IX	2,70	VII	2,59	VIII	7,07	X	3,22	XI
21	1937	16,99	5,03	VII	3,55	VIII	2,88	IX	3,08	X	2,45	XI
22	1955	16,78	4,95	VII	3,04	IX	2,59	VIII	3,25	X	2,95	XI
23	1939	15,21	3,28	VII	2,91	IX	2,52	VIII	3,42	X	3,08	XI
24	1952	13,76	3,05	VII	2,77	IX	2,37	VIII	2,82	X	2,75	XI
25	1934	12,63	3,38	VIII	2,61	VII	1,04	IX	3,36	X	(2,24)	XI
26	1940	10,7	3,10	VII	2,32	VIII	1,98	IX	1,93	X	(1,37)	XI
27	1933	6,65	1,71	VIII	0,85	VII	0,50	IX	(2,18)	XI	1,41	X
	Сумма	133,61	33,39		23,81		18,93		33,22		24,26	
		100%	25,0	VII	17,8	IX	14,2	VIII	21,8	X	18.2	XI

№ п/п	Зима									
	год	$\Sigma Q_{мес}$	1		2		3		4	
			$Q_{мес}$	месяц	$Q_{мес}$	месяц	$Q_{мес}$	месяц	$Q_{мес}$	месяц
1	1948	21,35	6,16	XII	5,97	I	4,74	III	4,48	II
2	1964	21,18	7,09	XII	5,23	I	4,44	III	4,42	II
3	1959	20,50	6,13	XII	5,09	I	4,84	II	4,44	III
4	1962	19,78	7,06	XII	4,93	I	4,13	II	3,66	III
5	1960	19,73	10,2	III	3,37	XII	3,24	II	2,92	I
6	1958	19,70	6,19	XII	4,67	III	4,58	I	4,26	II
7	1957	17,48	5,45	XII	4,49	I	4,04	III	3,50	II
8	1961	17,27	5,52	III	4,00	II	3,94	XII	3,81	I
9	1963	16,81	4,98	XII	4,59	I	3,62	II	3,62	III
	Сумма	173,8	58,78		42,34		37,57		35,11	
		100%	33,8	XII	24,4	I	21,6	II	20,2	III
10	1956	15,99	4,34	I	4,31	XII	3,68	III	3,66	II
11	1949	15,38	4,67	III	3,78	I	3,65	XII	3,28	II
12	1965	14,60	5,50	XII	3,28	III	3,08	I	2,74	II

13	1950	13,62	5,01	XII	3,99	I	2,44	II	2,18	III
14	1951	11,78	3,97	XII	3,18	I	2,34	III	2,29	II
15	1941	10,88	(2,94)	III	(2,91)	I	(2,52)	III	(2,51)	XII
16	1954	10,19	3,26	III	2,49	II	2,39	II	2,05	XII
17	1935	9,21	(2,73)	I	(2,64)	II	(2,05)	III	(1,79)	XII
18	1939	9,09	(2,96)	I	(2,90)	II	(1,88)	III	1,35	XII
	Сумма	110,74	35,38		29,48		24,03		21,85	
		100%	32,0	XII	26,6	I	21,7	III	19,7	II
19	1953	8,91	2,56	XII	2,18	I	2,15	III	2,02	II
20	1936	8,89	(2,85)	XII	2,07	III	2,00	I	1,97	II
21	1933	8,88	2,59	XII	2,19	III	2,13	II	1,97	II
22	1955	8,67	2,32	III	2,31	XII	2,09	II	1,95	I
23	1952	8,63	2,45	I	2,16	III	2,03	XII	1,99	II
24	1934	8,17	(2,20)	XII	(2,12)	I	(1,99)	II	(1,86)	I
25	1938	5,65	2,68	III	1,30	II	0,93	XII	0,69	I
26	1937	5,60	1,88	III	1,49	XII	1,14	II	1,09	I
27	1940	5,52	(1,61)	XII	(1,35)	III	(1,31)	II	(1,25)	I
	Сумма	68,92	21,14		17,17		15,82		14,79	
		100%	30,6	XII	25,0	III	22,9	II	21,5	I

Таблица 5.4

Расчетное распределение стока по месяцам в процентах от сезонного стока

р. Бабка — с. Балалы

Группа водности	Обеспеченность, %	Весна			Лето — осень					Зима			
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
Многоводная	25	29,0	63,5	7,5	10,2	15,8	29,2	28,1	17,7	33,8	24,4	21,6	20,2
Средняя	50	58,4	31,4	10,2	19,1	13,6	16,7	30,1	20,5	32,0	26,6	19,7	21,7
Маловодная	75	57,5	35,6	6,9	25,0	14,2	17,8	24,8	18,2	30,6	21,5	22,9	25,0

Таблица 5.5

Расчетное распределение стока по месяцам и сезонам в процентах от годового

р. Бабка — с. Балалы

Группа водности	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	Весна (IV—VI)	Лето—осень (VII—XI)	Зима (XII—III)
Многоводная	20,5	44,8	5,3	2,1	3,2	5,7	5,7	3,6	3,1	2,2	2,0	1,8	70,6	20,3	9,1
Средняя	43,0	23,1	7,5	3,4	2,4	3,0	5,4	3,7	2,7	2,3	1,7	1,8	73,6	17,9	8,5
Маловодная	44,1	27,4	5,3	3,8	2,2	2,7	3,8	2,8	2,4	1,7	1,8	2,0	76,8	15,3	7,0
Очень маловодная	47,1	29,2	5,7	2,9	1,6	2,0	2,9	2,1	2,0	1,4	1,5	1,6	82,0	11,5	6,5

Если площадь водосбора неизученной реки и реки-аналога одного порядка и распределение стока по месяцам и сезонам за годы совместных наблюдений отличается на обеих реках незначительно, то допускается непосредственное перенесение относительного внутригодового распределения стока (в процентах от годового) на рассматриваемую реку.

Ниже приводятся примеры расчета по методу аналогии.

Пример 5.2. Установить средние месячные расходы среднего и маловодного года для р. Ваймуги (приток р. Емцы, бассейн р. Северной Двины) у ст. Обозерской. (Площадь водосбора 340 *км*^{2}.)

В табл. 5.6 приведены данные месячного распределения стока малых рек Северного Края.

Из табл. 5.6 видно, что на трех реках — Вологде, Масляной и Камеле (бассейн р. Сухоны) — близкое распределение стока зимних и летне-осенних месяцев, однако сток весенних месяцев (апрель—май) р. Камелы несколько отличается от стока рек Вологды и Масляной. Река Емца, притоком которой является р. Ваймуга, в качестве аналога не подходит как вследствие значительно большей площади водосбора (F=1860 *км*^{2}), так и благодаря высокому зимнему стоку (k=0,6÷0,8).

Учитывая все эти соображения, а также и то обстоятельство, что площадь водосбора р. Ваймуги (340 *км*^{2}) незначительно отличается от площади водосбора р. Масляной (196 *км*^{2}), принимаем в основу распределения стока р. Ваймуги данные по р. Масляной, но со сдвигом стока весенних месяцев в связи с более северным расположением р. Ваймуги на май и июнь, вместо апреля и мая, подтверждением чего служат данные по р. Емце и особенно по соседнему бассейну р. Лодьмы. Полученная разница в сумме годового стока относится к весенним месяцам

Таким образом, получаем следующее распределение стока р. Ваймуги для среднего года:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
0,08	0,03	0,03	0,12	5,17	2,00	0,55	0,44	0,67	1,36	1,30	0,21	1,00

Для маловодного года, учитывая данные по р. Масляной для 1932 г., а также более северное расположение реки, предусматривается возможность ее промерзания и принимается следующее распределение стока по месяцам:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
0,05	0,02	0,00	0,05	5,21	2,86	0,24	0,01	0,01	1,16	1,15	1,29	1,00

Далее, по значениям средних годовых расходов для среднего и маловодного года, полученным методами, изложенными в главе 3, можно установить средние месячные расходы р. Ваймуги и в абсолютных значениях.

Пример 5.3. Установить распределение стока р. Малый Мунгай (приток р. Оби) у пос. Кашкала (площадь водосбора 101 *км*^{2}, период наблюдений 10 лет) по сезонам года 75%-ной обеспеченности. Расчет производится способом, рекомендованным В. Г. Андреяновым. В качестве аналога предварительно намечается р. Чумыш у с Тальменка (площадь водосбора 20 600 *км*^{2}, период наблюдений 23 года)

Для окончательного решения вопроса о пригодности намеченной реки в качестве аналога производится сопоставление годовых, сезонных и месячных величин стока (табл. 5 7).

Из табл. 5.7 видно, что годовые и сезонные величины стока на обеих реках за общий год наблюдений различаются незначительно, а распределение стока внутри маловодных сезонов примерно одинаково.

В результате проведенного анализа принимаем р Чумыш у с Тальменка в качестве аналога для р. Малый Мунгай у пос. Кашкала.

Таблица 5.6

Распределение стока по месяцам (в долях от нормы стока) рек Северного края

Река — пункт	Площадь водосбора, км²	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Вологда — свх. Молочное	1280	0,07	0,05	0,05	4,43	3,99	0,40	0,41	0,30	0,56	0,80	0,72	0,20	1,00
Масляная — д. Локтево	196	0,08	0,03	0,12	5,17	1,54	0,57	0,55	0,44	0,67	1,36	1,30	0,21	1,00
Емца — ж.-д. мост . .	1860	0,72	0,62	0,57	0,87	2,28	1,32	0,99	0,90	0,93	1,07	1,03	0,82	1,00
Камела — д Починок .	1060	0,08	0,08	0,10	2,59	4,55	0,60	0,24	0,60	0,55	1,25	1,26	0,11	1,00
Лодьма — д. Коровкинская	1400	0,15	1,19	1,02	1,08	5,32	1,51	0,56	0,50	0,55	1,00	0,76	0,27	1,00

По данным наблюдений на реке-аналоге производим расчет нормы, коэффициентов вариации и асимметрии годового стока, стока по сезонам и среднего относительного распределения стока по сезонам (в долях от годового) η_a, как это делалось в примере 5.1. Вычисляем величины отношения коэффициентов вариации сезонного и годового стока $k_a = \frac{C_{v\,сез}}{C_{v\,год}}$.

Далее переходим к расчетам распределения стока на р. Малый Мунгай у пос. Кашкала.

Определяем для исследуемой реки норму и коэффициент вариации согласно рекомендациям, изложенным в главе 4. По данным аналога принимаем среднее относительное распределение стока по сезонам (в долях от годового) η_a, величины отношения коэффициентов вариации сезонного и годового стока $k_a = \frac{C_{v\,сез}}{C_{v\,год}}$, а также отношения C_s/C_v для года и сезонов.

Устанавливаем норму стока всех сезонов и лимитирующего периода по формуле $\Sigma Q_{мес.\,сез.} = \Sigma Q_{мес.\,год}\,\eta_a$ и определяем коэффициенты вариации сезонного стока по коэффициенту вариации годового стока $C_{v\,год}$ и коэффициенту k_a, установленному для аналога по формуле $C_{v\,сез} = C_{v\,год} k_a$.

По установленным значениям нормы и C_v и принятому по аналогу отношению C_s/C_v рассчитываем величины стока заданной обеспеченности $P\%$ за год, лимитирующий период и лимитирующий сезон (в суммах месячных расходов $\Sigma Q_{мес}$ $м^3/сек$), а величины стока нелимитирующих сезонов устанавливаем по разности стока за год и лимитирующий период и за лимитирующий период и лимитирующий сезон; обеспеченности нелимитирующих сезонов устанавливаем по их модульным коэффициентам и параметрам C_v и C_s.

Полученные величины сезонного стока и лимитирующего периода выражаем в долях от годового стока. Результаты расчета приведены в табл. 5.8.

Для весеннего сезона ввиду более короткой продолжительности половодья на малом водосборе внутрисезонное распределение стока по аналогу следует пересчитать применительно к условиям более кратковременного, чем на аналоге, прохождения паводка на р. Малый Мунгай у пос. Кашкала.

Пересчет стока за весну на исследуемой реке по данным о внутривесеннем распределении стока по реке-аналогу производится следующим образом.

По имеющимся данным средняя длительность половодья на р. Чумыш у с. Тальменка составляет пять декад, а на р. Малый Мунгай у пос. Кашкала — три декады.

Чтобы перераспределить сток вместо пяти декад по р. Чумыш на три декады по р. Малый Мунгай, производится срезка распределения стока р. Чумыш (в процентах от сезонного) на величину устойчивого грунтового питания; последняя величина принимается равной полному стоку за последнюю декаду перед началом волны половодья и постоянной в течение всего весеннего сезона. Полученные величины поверхностного стока по р. Чумыш приведены в табл. 5.9, в которой величины стока в процентах от сезонного в период половодья заключены в рамку.

Из сопоставления продолжительности половодья по обоим объектам следует, что на каждую декаду р. Малый Мунгай приходится $^5/_3$ декады р. Чумыш. Следовательно, на первую декаду половодья р. М. Мунгай приходится сток всей первой декады р. Чумыш и $^2/_3$ стока второй декады, т. е. $20{,}1 + 38{,}1 \cdot {}^2/_3 = 45{,}5\%$. Аналогично на вторую декаду половодья р. М. Мунгай придутся оставшаяся $^1/_3$ стока второй декады р. Чумыш, весь сток третьей декады и $^1/_3$ стока четвертой декады, т. е. $38{,}1 \cdot {}^1/_3 + 12{,}7 + 7{,}9 \cdot {}^1/_3 = 28\%$. Наконец, на третью декаду р. М. Мунгай остается $^2/_3$ стока четвертой декады р. Чумыш и весь сток пятой декады, т. е. $7{,}9 \cdot {}^2/_3 + 3{,}3 = 8{,}6\%$.

Таким же способом перераспределяется поверхностный сток р. Чумыш за три послеполоводные декады на пять послеполоводных декад р. М. Мунгай, но в этом случае на одну декаду р. М. Мунгай приходится $^3/_5$ декадного поверхностного стока р. Чумыш.

Таблица 5.7

Сопоставление величин месячного слоя стока (*мм*) рек Чумыш и Малый Мунгай за общий год наблюдений (1950-51 г.)

Река — пункт	Весна				Лето — осень						Зима					Всего за год
	IV	V	VI	всего	VII	VIII	IX	X	XI	всего	XII	I	II	III	всего	
р. Чумыш — с. Тальменка	27,2	136	23,5	186,7	7,8	10,2	9,9	6,9	4,4	39,2	3,9	3,9	3,1	2,8	13,7	239,6
р. Малый Мунгай — пос. Кашкала	16,2	153	7,2	176,4	5,3	13,1	10,9	6,2	6,0	41,5	5,1	2,9	3,3	3,5	14,8	232,7

Таблица 5.8

Расчет распределения стока р. Малый Мунгай у пос. Кашкала по сезонам года 75%-ной обеспеченности (маловодного) по аналогии с р. Чумыш у с. Тальменка

Сезон	Месяц	Аналог — р. Чумыш					Неизученная река — Малый Мунгай				
		норма стока		C_v	$k_a = \frac{C_v \text{ сез}}{C_v \text{ год}}$	C_s	норма стока $\Sigma Q_{мес}$ $м^3/сек$	C_v	распределение стока года 75%-ной обеспеченности		
		мм	в долях от годового стока η_a						$\Sigma Q_{мес}$ $м^3/сек$	в долях от годового стока	$p\%$
Год	IV—III	205	1	0,23	—	$2C_v$	10,0	0,37	7,31	100	75
Весна	IV—VI	149	0,727	0,26	1,13	$2C_v$	7,27	0,42	5,55	75,9	69
Лимитирующий период (лето—осень и зима)	VII—III	56	0,273	0,30	1,30	$2C_v$	2,73	0,48	1,76	24,1	75
Лимитирующий сезон (лето—осень)	VII—XI	40	0,195	0,37	1,61	$2C_v$	1,95	0,60	1,09	14,9	75
Зима	XII—III	16	0,078	0,25	1,09	$2C_v$	0,78	0,40	0,67	9,2	58

Таблица 5.9

Расчет распределения стока р. Малый Мунгай у пос. Кашкала по декадам маловодного весеннего сезона (в процентах от сезонного стока) по аналогии с р. Чумыш у с. Тальменка

Река — пункт	Вид стока	Апрель			Май			Июнь			За весенний сезон	За половодье
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
р. Чумыш — с. Тальменка (аналог)	Поверхностный	0	20,1	38,1	12,7	7,9	3,3	2,1	0,9	0,5	85,6	82,1
	Грунтовый	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	14,4	8,0
	Полный	1,6	21,7	39,7	14,3	9,5	4,9	3,7	2,5	2,1	100	90,1
р. Малый Мунгай — пос. Кашкала	Поверхностный	0	45,5	28,0	8,6	1,3	1,0	0,5	0,4	0,3	85,6	82,1
	Грунтовый	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	14,4	4,8
	Полный	1,6	47,1	29,6	10,2	2,9	2,6	2,1	2,0	1,9	100	86,9

Глава 6

РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ

§ 6.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ РАЗЛИЧНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Для определения минимальных расходов воды рек используются данные наблюдений по стоку за зимний и летне-осенний сезоны. При этом под летне-осенним сезоном понимается период от конца весеннего половодья до начала ледовых явлений на реках рассматриваемой территории; за зимний сезон принимается период от начала появления ледовых явлений на реках до начала весеннего половодья. В случае отсутствия ледовых явлений за зимний сезон принимается период от средней даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0° в сторону понижения до начала весеннего половодья.

Основной расчетной характеристикой является минимальный средний месячный расход воды, наблюдающийся в меженный период зимнего или летне-осеннего сезона. В случае если меженный период является коротким (меньшим двух месяцев) или прерывистым (состоит из нескольких периодов, разделенных паводками), вместо среднего месячного расхода воды используется средний расход воды за 30 суток с наименьшим стоком (не календарный месяц). Он определяется следующим образом: строятся гидрографы стока исследуемой реки за каждый год за весь период наблюдений (необходимость такого построения определяется сложностью режима стока реки, что устанавливается путем анализа таблиц ежедневных расходов воды); на гидрографе определяется участок с наименьшими расходами воды в данном сезоне продолжительностью 30 суток и по таблицам ежедневных расходов воды производится подсчет среднего расхода воды за выбранный период.

В случае если для рек данного района характерно наличие длительного меженного периода, прерываемого только в многоводные годы значительными паводками, т. е. когда меженный

период является коротким, вместо 30-дневного периода в такие годы используется и более короткий период, но не менее 25—23 суток, чтобы исключить влияние паводков. Если длительные беспаводочные периоды наблюдаются редко, в расчет вводится величина минимального стока, определенная за 23—30 суток с наименьшим стоком. Такой режим характерен для рек с коротким и неустойчивым меженным периодом. Длительность периода минимального стока определяется величиной паводков, предшествующих периоду наименьшего стока и следующих за ним.

Средний за период наблюдений минимальный расход воды определяется как среднее арифметическое из имеющегося ряда фактических данных о стоке. При этом в случае определения минимального 30-дневного расхода воды средняя величина рассчитывается независимо от того, имеются в ряду наблюдений только 30-дневные величины или с сокращенным периодом — 25—23-дневные. Средняя многолетняя величина минимального стока считается достаточно надежной, если ее средняя квадратическая ошибка σ_n, определяемая по формуле (3.5), составляет не более $\pm 15\%$. Если значение σ_n превышает допустимую величину, необходимо удлинить ряд наблюдений методом аналогии. При выборе реки-аналога используются гидрогеологические описания и карты изучаемого района, а также карты районов для определения минимального стока на малых реках СССР (Указания СН 346—66, приложения 10а и 10б). При отсутствии аналога расчет производится по методу определения минимального стока на реках с отсутствием гидрометрических наблюдений.

Минимальные расходы воды расчетной обеспеченности определяются методом, аналогичным определению средних годовых расходов. Построение кривых обеспеченности производится отдельно для зимнего и летне-осеннего периодов по правилам, изложенным в главе 4 [формулы (4.1) и (4.1′)]. Если в составе ряда минимальных расходов воды имеются нулевые значения вследствие пересыхания или промерзания реки, величина C_v определяется графо-аналитическим способом (по способу Г. А. Алексеева) по эмпирической кривой обеспеченности.

Пример 6.1. Определить минимальные средние месячные расходы воды на р. Печа у д. Падун (Кольский полуостров) в зимний и летне-осенний сезоны, обеспеченные на 90%. Сведения о стоке исследуемой реки имеются с 1933 по 1965 г. Анализ водного режима реки показывает, что в зимний сезон меженный период является продолжительным и устойчивым, в то время как в летне-осенний сезон он довольно часто нарушается дождевыми паводками, являясь прерывистым или коротким. Поэтому в зимний сезон используется величина минимального расхода воды, среднего за календарный месяц, а в летне-осенний сезон в многоводные годы производится сдвижка по времени и, вместо календарного среднего месячного, используется средний расход воды за 30 суток с наименьшим стоком. Результаты произведенной выборки

минимальных средних месячных (30-дневных) расходов воды за зимний и летне-осенний сезоны приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Минимальные среднне месячные (30-дневные) расходы воды р. Печа у д. Падун

№ п/п	Год	Q зимний $м^3/сек$	Q летний $м^3/сек$	№ п/п	Год	Q зимний $м^3/сек$	Q летний $м^3/сек$
1	1933	5,34	9,42	18	1950	2,65	6,82
2	1934	3,30	13,9	19	1951	2,16	16,6 *
3	1935	4,10	15,1	20	1952	4,49	19,0 *
4	1936	3,23 *	9,15 *	21	1953	3,47	9,32
5	1937	2,75	4,36	22	1954	3,55	11,6 *
6	1938	2,60	14,2 *	23	1955	4,02	9,68
7	1939	3,70	7,70 *	24	1956	2,62	9,79*
8	1940	3,50	23,1 *	25	1957	3,43	16,8 *
9	1941	3,58	9,64	26	1958	3,79	10,5
10	1942	2,08	6,56	27	1959	3,77	14,4
11	1943	3,02	21,1 *	28	1960	2,98	5,71
12	1944	4,53	20,3	29	1961	1,70	17,7
13	1945	4,03	7,29 *	30	1962	3,64	15,8
14	1946	3,90 *	13,8 *	31	1963	3,81	12,3
15	1947	2,77	15,4	32	1964	4,10	11,1
16	1948	2,52	16,2 *	33	1965	3,87	29,8
17	1949	4,97	16,0				

* Расход воды, определенный со сдвижкой по времени, т. е. за период наименьшего стока продолжительностью 30—23 дня.

Исходя из данных этой таблицы, для зимнего сезона получаем следующие параметры, необходимые для построения кривой обеспеченности: $\overline{Q}=3{,}45$ $м^3/сек$, $C_v=0{,}23$ при $\sigma_n=4{,}8\%$. Эмпирическим точкам соответствует теоретическая кривая при $C_s=2C_v$. Тогда искомая величина $Q_{90\%}$ будет равна 2,4 $м^3/сек$.

В летне-осенний сезон величина среднего многолетнего минимального 30-дневного расхода воды составляет 13,3 $м^3/сек$, что на 14% меньше величины, определенной по календарным месяцам без сдвижки по времени. Значения других параметров следующие: $C_v=0{,}41$; $\sigma_n=7{,}1\%$, т. е. в пределах допустимой ошибки. Эмпирической кривой, построенной на клетчатке вероятности, наиболее соответствует теоретическая биномиальная кривая при $C_s=2C_v$. Искомая величина минимального 30-дневного расхода воды обеспеченностью 90% составляет 6,94 $м^3/сек$.

§ 6.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ МИНИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ПРИ ОТСУТСТВИИ ИЛИ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Расчет минимальных расходов воды на неизученных реках или в случае, когда имеющийся фактический материал не пригоден для использования в расчетах по статистическим формулам, производится в основном двумя способами: по картам изолиний минимального стока и по эмпирическим зависимостям.

Карты изолиний используются при расчетах минимального 30-дневного стока средних рек, с площадью водосбора от 1000—2000 (критическая площадь) до 75 000 *км*². Реки с площадью водосбора, меньшей критической, относятся к малым рекам. Они имеют величину модуля минимального стока, отличную от аналогичной характеристики средних рек. Способ определения минимального стока на малых реках излагается ниже.

Критическая площадь показывает величину площади бассейна, начиная с которой на реках данного района практически не наблюдается изменение модуля минимального 30-дневного стока (M_{30}) с ростом площади бассейна (F). Она определяется путем построения зависимости $M_{30}=f(F)$ на двуосной логарифмической клетчатке, на которой критической площади будет соответствовать точка перегиба кривой при переходе ее в прямую, близкую к горизонтальной линии.

На территории СССР (кроме Кавказа и Средней Азии) выделено 11 районов в зимний сезон и 14 районов в летне-осенний, в которых реки имеют близкие по размеру критические площади бассейнов. Их величина изменяется от 800 до 10 000 *км*². Поэтому для ее определения в данном районе может быть использована карта районов для определения минимальных 30-дневных расходов воды на малых реках и таблица наибольших (критических) площадей бассейнов малых рек, помещенных в Указаниях СН 346-66 (Приложения 10а и 10б).

Способ определения минимального 30-дневного стока по картам изолиний аналогичен методу вычисления годового стока. Карты изолиний минимального стока не применяются для озерных рек и рек, расположенных в карстовых районах.

Минимальный 30-дневный сток на малых реках, с площадью водосбора не менее 50 *км*² для увлажненных районов и 100 *км*² для районов недостаточного увлажнения, рассчитывается по эмпирической зависимости вида

$$\overline{Q}_{\text{мин}}=a\,(F+c)^n, \qquad (6.1)$$

где $\overline{Q}_{\text{мин}}$ — минимальный 30-дневный расход воды, средний за многолетний период, для зимнего или летне-осеннего сезонов; F — площадь бассейна реки в *км*²; a, n, c — параметры, определяемые в зависимости от географического местоположения реки, устанавливаются по таблице и картам районов для определения минимального 30-дневного стока на малых реках СССР, приведенных в Указаниях СН 346—66 (приложения 3 и 10а, 10б).

Для расчета минимальных 30-дневных расходов воды различной обеспеченности коэффициент изменчивости C_v определяется в зависимости от величины среднего многолетнего минимального 30-дневного модуля стока за зимний или летне-осенний сезон для данного района. В качестве вспомогательного материала используется карта районов для определения коэффици-

ентов изменчивости и таблица значений C_v, помещенные в Указаниях СН 346-66 (приложения 5 и 11). Коэффициент асимметрии принимается по аналогии с окружающими изученными реками или назначается по соотношению $C_s=2C_v$ для увлажненных районов и $C_s=1{,}0\div1{,}5\ C_v$ для районов недостаточного увлажнения.

Для территории Украинской ССР минимальные расходы воды малых рек могут быть получены по зависимости минимального 30-дневного модуля стока обеспеченностью 97% от отметки тальвега русла реки в замыкающем створе, выраженной в м абс. для районов с одинаковыми гидрогеологическими условиями питания реки. Необходимые сведения для производства указанных расчетов помещены в Указаниях СН 346-66 (приложения 4 и 10). Определение минимальных расходов иной обеспеченности производится по переходным коэффициентам, приведенным в табл. 3 этих же Указаний.

Величина минимального среднего суточного стока устанавливается по его соотношению с минимальным 30-дневным модулем стока по зависимости

$$M_{сут}=aM_{мес}-b, \qquad (6.2)$$

где $M_{сут}$ — минимальный средний суточный модуль стока в *л/сек* с 1 *км*^{2}; $M_{мес}$ — минимальный 30-дневный модуль стока; a, b — параметры, определяемые в зависимости от местоположения реки по таблице, приведенной в Указаниях СН 346-66 (приложение 2).

Пример 6.2. Определить минимальные 30-дневные и средние суточные расходы воды 90%-ной обеспеченности в летне-осенний сезон р. Ура у ст. Ура-Губа (Кольский п-ов).

1. Устанавливаем, что площадь бассейна реки до замыкающего створа составляет 1020 *км*^{2}.

2. Исходя из местоположения речного бассейна на карте (рис. 6.1), определяем индекс района и по табл. 6.2 устанавливаем величину площади бассейна, до которой река считается малой (критическую площадь). Величина критической площади для района *А*, в котором находится бассейн р. Ура, составляет 1400 *км*^{2}. Следовательно, расчет необходимо производить по схеме, применяемой для определения минимального стока на малых реках.

Таблица 6.2

Наибольшие критнческие площади бассейнов (*км*^{2}) малых рек

Индекс района по карте	Летне-осенний сезон	Зимний сезон	Индекс района по карте	Летне-осенний сезон	Зимний сезон
А	1400	1500	Д	1300	1400
Б	800	1000	Е	1500	1600
В	1200	1200	Ж	1700	1800
Г	1000	1300	З	1800	2000

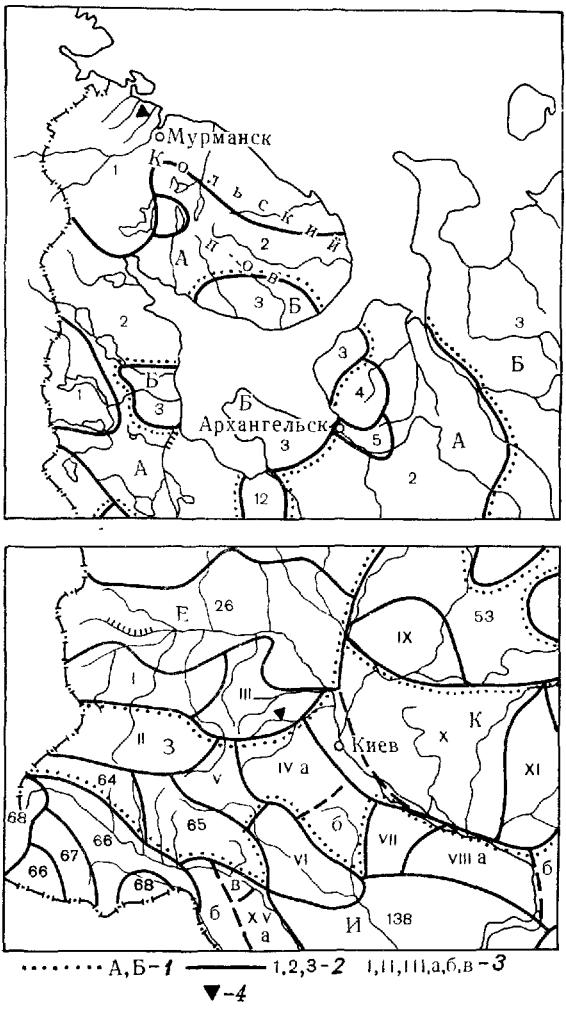


Рис. 6.1. Выкопировки из карт районов для определения минимальных 30-дневных расходов воды на малых реках в летне-осенний сезон.

1 — граница и индекс района для определения наибольшего значения (критической) площади бассейна малой реки; *2* — граница и номер района для определения минимальных 30-дневных расходов воды малых рек; *3* — номер района и индекс подрайона для определения минимальных 30-дневных расходов воды на малых реках Украинской ССР; *4* — расчетные створы

Таблица 6 3

Значения параметров a, n, c

Номер района по карте	Зимний сезон			Летне-осенний сезон		
	$a \cdot 10^3$	n	c	$a \cdot 10^3$	n	c
1	2,50	1,08	0	1,40	1,27	95
2	1,60	1,05	0	0,94	1,24	15
3	1,00	1,14	50	0,64	1,22	0
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
56	0,012	1,30	0	0,0034	1,12	—500
57	0,72	0,74	—300	0,15	1,05	—200
58	0,24	0,90	—500	0,00013	1,93	—200
59	1,10	0,85	—1000	0,053	1,06	—500
60	0,87	0,84	—160	0,065	1,09	0

Таблица 6 4

Значения C_v в зависимости от величины модуля минимального 30-дневного стока за летний и зимний сезоны

Номер района по карте	$M_{зим.}$ мес *л/сек* с 1 *км*^{2}	C_v зим. мес	$M_{лет.}$ мес *л/сек* с 1 *км*^{2}	C_v лет. мес
1	0,5—3	0,3—0,2	3—12	0,5—0,3
2	0—1	0,4—0,3	4—7	0,6—0,3
3	0	—	2—4	0,6—0,4
4	1,5—6	0,3—0,2	3—12	0,4—0,3
5	1—5	0,4—0,2	1—7	0,5—0,3
6	0,5—3	0,4—0,2	6—7	0,6—0,3
7	1—5	0,7—0,3	1—5	0,6—0,3

Таблица 6 5

Значения параметров a и b для определения минимального среднего суточного модуля стока

Номер района по карте	Зимний сезон		Летне-осенний сезон	
	a	b	a	b
1	0,94	0,1	0,82	0,4
2	0,86	0,1	0,74	0,1
3	0,80	0,3	0,83	0
4	0,70	0,4	0,72	0
5	0,70	0,2	0,42	0
6	0,75	0,1	0,47	0,1

3. По той же карте находим, что номер района для определения минимального стока малой реки по формуле (6.1) — 1. По табл. 6.3 определяем значения параметров расчетной формулы для района 1, которые равны $a=0{,}0014$, $n=1{,}27$, $C=95$. Подставив все расчетные параметры в формулу (6.1), получаем, что величина среднего многолетнего минимального 30-дневного расхода воды в летне-осенний сезон составляет 9,85 *м³/сек*, или 9,65 *л/сек* с 1 *км²*.

4. Для определения коэффициента изменчивости C_v по карте (рис. 6.2) устанавливаем, что бассейн р. Ура расположен в районе 1. По табл. 6.4 находим, что в районе 1 величине модуля 9,65 *л/сек* с 1 *км²* соответствует значе-

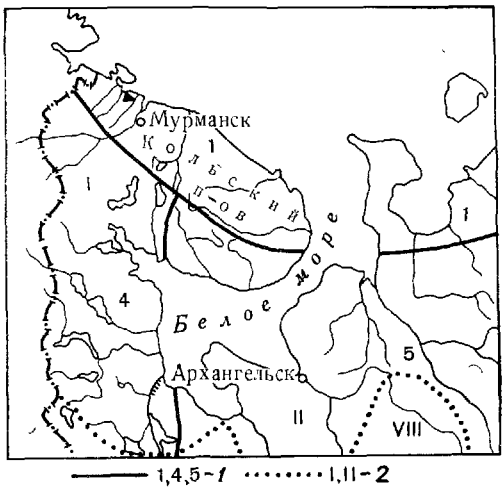


Рис. 6.2. Выкопировка из карты районов для определения минимального среднего суточного расхода воды и коэффициента изменчивости 30-дневного стока в летне-осенний сезон.

1 — граница и номер района для определения коэффициента изменчивости; *2* — граница и номер района для определения минимального среднего суточного расхода воды.

ние коэффициента изменчивости C_v, равное 0,34 (величина C_v определена путем интерполяции с учетом того, что бо́льшему значению модуля соответствует меньшая величина C_v).

5. Величина коэффициента асимметрии C_s принимается в соответствии с рекомендацией для увлажненных районов равной $2C_v$.

6. По установленным параметрам $Q=9{,}85$ *м³/сек*, $C_v=0{,}34$ и $C_s=2C_v$ определяем, что расчетное значение минимального 30-дневного расхода воды 90%-ной обеспеченности равно 5,3 *м³/сек*.

7. Для расчета минимального среднего суточного расхода воды по уравнению (6.2) используется карта, показанная на рис. 6.2, по которой устанавливается, что р. Ура расположена в районе 1, для которого районные параметры a и b равны соответственно 0,82 и 0,4 (значения параметров определены по табл. 6.5). В качестве параметра $M_{мес}$ подставляется величина $M_{90\%}$, равная 5,2 *л/сек* с 1 *км²*. В результате расчета получаем, что искомая величина минимального среднего суточного расхода воды (после перевода модуля в расход воды) 90%-ной обеспеченности составляет 3,94 *м³/сек*.

Пример 6.3. Определить модули минимальных летних средних месячных расходов воды 75 и 90%-ной обеспеченности р. Ирши у пос. Володар-Волынский (Украинская ССР).

Устанавливаем, что площадь бассейна реки составляет 208 *км*², т. е. река является малой. По карте (рис. 6.1) находим, что бассейн реки расположен в районе III. По гипсометрической карте определяем абсолютную отметку тальвега реки в створе пос. Володар-Волынский, которая равна 193 *м*. По табл. 6.6 находим, что в районе III реки с абсолютной отметкой тальвега реки, равной 193 *м*, имеют величину модуля минимального летнего стока 97%-ной обеспеченности 0,025 *л/сек* с 1 *км*². Переходные коэффициенты к величине стока 75 и 90%-ной обеспеченности в районе III устанавливаем по табл. 6.7. Они составляют соответственно 2,10 и 1,22. Расчетные модули равны: $M_{75} = 0{,}025 \cdot 2{,}1 = 0{,}052$ *л/сек* с 1 *км*², $M_{90} = 0{,}025 \cdot 1{,}22 = 0{,}030$ *л/сек* с 1 *км*².

Таблица 6.6

Модули минимального 30-дневного стока обеспеченностью 97% в зависимости от отметки вреза русла реки для территории УССР

Номер района по карте	Отметка вреза русла реки, *м* абс.	Летний сезон	Зимний сезон
I	180—160	0—0,03	0—0,10
	160—140	0,03—0,10	0,10—0,25
	140—120	0,10—0,25	0,25—0,50
II	260—240	0—0,40	0—0,60
	240—220	0,40—0,55	0,60—0,80
	220—200	0,55—0,70	0,80—1,00
	200—180	0,70—0,90	1,00—1,20
	180—160	0,90—1,15	1,20—1,50
III	220—200	0—0,02	0—0,05
	200—180	0,02—0,04	0,05—0,09
	180—160	0,04—0,07	0,09—0,14
	160—140	0,07—0,13	0,14—0,20
	140—120	0,13—0,25	0,20—0,30
	120—100	0,25—0,50	0,30—0,60

Таблица 6.7

Переходные коэффициенты для определения минимальных расходов воды различной обеспеченности на реках УССР

Районы по картам приложения 10а и 10б СН 346-66	Обеспеченность минимальных расходов %				
	95 и 97	90	80	75	60
I, III, IV, Хб	1,00	1,22	1,80	2,10	2,80
II	1,00	1,10	1,30	1,45	1,80
V, VI, VII, VIII, XV	1,00	1,20	1,45	1,60	2,10
IX, Ха, XI, XIIа	1,00	1,20	1,55	1,65	2,00
XIIб, в, XIII	1,00	1,70	2,20	3,50	4,00

Согласно Указаниям СН 346-66, при проектировании объектов водопотребления и водопользования (промышленного и хозяйственно-питьевого водоснабжения, водного хозяйства ГЭС, ирригационного водопользования и т. п.) расчетная обеспеченность минимальных расходов воды принимается в зависимости от степени допустимости перебоев в подаче воды в пределах от 75% (при допустимости перебоев) до 95—97% (при недопустимости перерывов или уменьшения подачи воды).

Наряду с изложенным способом определения расчетных минимальных расходов воды при отсутствии гидрометрических наблюдений может быть применен способ переходных коэффициентов. Этот путь обобщения требует большего количества рабочего времени на подготовку исходного материала (особенно при больших территориальных обобщениях), но в дальнейшем при практическом использовании, наоборот, позволяет значительно сократить затраты времени и к тому же повышает точность расчетов, поскольку приходится определять уже не три, а один-два параметра.

В Государственном гидрологическом институте в 1970 г. построены карты изолиний минимального 30-дневного стока 80%-ной обеспеченности для зимнего и летне-осеннего сезонов по данным о стоке средних рек (приложение XLV). В качестве критерия средних рек приняты вышеуказанные критические площади.

Определение минимальных расходов воды иной обеспеченности производится по переходным коэффициентам, полученным по графикам связи минимальных 30-дневных расходов воды 80%-ной обеспеченности с такими же расходами воды обеспеченностью 75, 85, 90, 95 и 97%. Значения переходных коэффициентов для каждой обеспеченности изменяются по территории незначительно (в пределах ±20% для подавляющего большинства пунктов) и практически одинаковы для зимнего и летне-осеннего сезонов, поэтому почти для всей территории СССР переходные коэффициенты принимаются едиными (табл. 6.8).

Таблица 68

Значения переходных коэффициентов для определения минимальных 30-дневных и суточных расходов воды различной обеспеченности

Район по карте (приложение XLVI)	Обеспеченность, %					
	75	80	85	90	95	97
А	1,04	1,0	0,94	0,87	0,80	0,75
Б	1,04	1,0	0,93	0,70	0,60	0,45

Минимальный сток малых рек обеспеченностью 80% рассчитывается по формуле (6.1). При этом коэффициент *a*

уменьшается путем умножения на переходный коэффициент от среднего многолетнего минимального 30-дневного расхода воды (для которого предназначена формула) к минимальному расходу воды 80%-ной обеспеченности. Величина коэффициента устанавливается по соответствующим графикам связи. Расходы воды других обеспеченностей определяются по тем же переходным коэффициентам, что и для средних рек.

Минимальный средний суточный расход воды 80%-ной обеспеченности рассчитывается по переходному коэффициенту (табл. 6.9), полученному по связи суточных и 30-дневных расходов воды 80%-ной обеспеченности. Минимальные 30-дневные расходы воды для неизученных рек определяются одним из вышеизложенных способов. Минимальные суточные расходы воды иной обеспеченности рассчитываются по переходным коэффициентам от суточного 80%-ного расхода воды, которые помещены в табл. 6.8.

Таблица 6.9

Значения переходных коэффициентов для определения минимального суточного расхода воды

Район по карте (приложение XLVI)	Зимний сезон	Летне-осенний сезон
1 (I)	0,90	0,86
2 (II)	0,83	0,83
3 (III)	0,54	0,73
4	—	0,68
5	—	0,60
6	—	0,45
7	—	0,80

Примечание: 2 — номер района для летне-осеннего сезона, II — для зимнего сезона.

Пример 6.4. Определить минимальные 30-дневные и суточные расходы воды соответственно 90 и 95%-ной обеспеченности в зимний сезон на р. Б. Тюва у пос. Тюва-Губа. Площадь бассейна 351 $км^2$.

1. Судя по величине площади бассейна река относится к категории малых, поэтому расчет ведется с использованием формулы (6.1).

2. По приложению 10а (Указания СН 346-66) устанавливаем, что рассматриваемый речной бассейн находится в районе 3. По табл. 6.3 определяем необходимые параметры $a=0{,}001$, $n=1{,}14$ и $c=50$. По соответствующим графикам связи устанавливаем, что переходный коэффициент от минимального 30-дневного среднего многолетнего расхода воды к расходу 80-ной обеспеченности равен 0,75, следовательно, коэффициент a уменьшается до величины 0,00075. Произведя расчет, получим, что минимальный 30-дневный расход воды 80%-ной обеспеченности составляет 0,67 $м^3/сек$. По табл. 6.8 находим величину переходного коэффициента для расхода 90%-ной обеспеченности, которая равна 0,87. Следовательно, искомый расход воды будет 0,58 $м^3/сек$.

3. Для определения минимального суточного расхода воды 95%-ной обеспеченности сначала устанавливается велнчина суточного расхода воды 80%-

ной обеспеченности. По табл. 6.9 находим, что переходный коэффициент от минимального 30-дневного расхода воды 80%-ной обеспеченности к соответствующему суточному расходу будет равен 0,90. Тогда величина суточного расхода 80%-ной обеспеченности составит 0,60 *м³/сек*. Переходный коэффициент к суточному расходу воды 95%-ной обеспеченности равен 0,80 (табл. 6.7). Искомая величина будет 0,48 *м³/сек*.

Пример 6.5. Определить минимальный 30-дневный и суточный сток 95%-ной обеспеченности для р. Западной Лицы — устье в зимний сезон. Площадь бассейна 1660 *км²*.

1. Исходя из местоположения р. Западной Лицы (Кольский полуостров) по карте приложения 10а, устанавливаем, что размер ее площади бассейна превышает величину критической площади (1000 *км²*). Следовательно, минимальный 30-дневный сток может быть определен по карте изолиний (приложение XLV). Устанавливаем центр бассейна рассматриваемой реки и по прямой интерполяции между изолиниями определяем величину 30-дневного стока 80%-ной обеспеченности, которая равна 1,9 *л/сек* с 1 *км²*. Переходный коэффициент к стоку 95%-ной обеспеченности равен 0,80 (табл. 6.8). Тогда искомая величина будет равна 1,52 *л/сек* с 1 *км²*.

2. Поскольку обе определяемые характеристики имеют одинаковую обеспеченность, то суточный сток может быть установлен непосредственно через 30-дневный сток 95%-ной обеспеченности. Переходный коэффициент к суточному стоку, учитывая местоположение реки и данные табл. 6.9, равен 0,90. Следовательно, расчетная величина составит: $1{,}52 \times 0{,}9 = 1{,}37$ *л/сек* с 1 *км²*.

Глава 7

МАКСИМАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ ВОДЫ

§ 7.1. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА

Исследования и расчеты весеннего половодья и дождевых паводков являются в научном и практическом отношении наиболее важным разделом учения о стоке.

Научное значение данного вопроса объясняется прежде всего тем, что весеннее половодье и дождевые паводки определяют общие черты режима стока рек того или иного района. Объем их стока составляет основную долю, а на малых водотоках и весь годовой сток. Общая продолжительность, интенсивность подъема и спада, а также высота подъема и зона распространения половодья и паводков тесным образом связаны с рядом метеорологических факторов и факторами подстилающей поверхности бассейнов.

Под максимальными расходами воды рек и малых водотоков понимаются наибольшие в году значения мгновенных или срочных расходов, наблюдаемые во время весеннего половодья или дождевых паводков.

На малых водотоках со значительным внутрисуточным изменением уровней и расходов, особенно в период дождевых паводков, пик паводка может пройти между установленными сроками наблюдений. Поэтому срочные максимальные расходы бывают меньше мгновенных. В свою очередь средний суточный максимум меньше срочного. Эта разница бывает значительной на очень малых водотоках и уменьшается с возрастанием площади водосбора реки. Расчеты следует производить для мгновенных максимальных расходов воды.

По генетическому признаку, или происхождению, максимальные расходы воды подразделяются на:

а) образующиеся в основном от таяния снегов на равнинах,

б) от таяния снегов в горах и ледников,

в) от дождей,

г) от совместного действия снеготаяния и дождей — смешанные максимумы.

К максимумам смешанного происхождения относятся максимальные расходы воды, в образовании которых невозможно установить превалирующую роль талых или дождевых вод.

При анализе и расчетах максимальных расходов воды с применением методов математической статистики максимумы различного генетического происхождения рассматриваются раздельно.

Практическая важность вопроса определяется тем, что многие элементы половодья или паводков необходимо учитывать при строительстве гидротехнических сооружений. Особенно важно знать максимальные расходы воды весеннего половодья и дождевых паводков, от величины которых зависят размеры наиболее массовых сооружений — мостовых переходов через реки и малые водотоки, большое количество которых ежегодно строится на автомобильных и железных дорогах, а также размеры водосбросных и водопропускных отверстий других сооружений.

От правильного определения максимальных расходов воды и работы водосбросных отверстий зависит бесперебойность работы сооружения или дороги, безопасность или судьба всего сооружения и прилегающих к реке объектов, а также и стоимость сооружения. Завышенные максимальные расходы воды повысят общую стоимость сооружения, что снизит его экономическую эффективность. Занижение максимальных расходов приведет к разрушению сооружения, затоплению прилегающей к реке местности, материальному убытку и человеческим жертвам.

Сочетание требований безопасности работы сооружения и его стоимости, от которой зависит общая экономическая эффективность сооружения, достигается применением принципа вероятностного расчета, основанного, с одной стороны, на учете наиболее возможной величины максимального расхода с точки зрения гидрологического режима реки и, с другой стороны, на учете вероятности превышения этой величины.

Расчетные ежегодные вероятности превышения, или обеспеченности, максимальных расходов воды определяются в зависимости от класса капитальности сооружения и нормируются общими техническими указаниями, рекомендуемыми или обязательными для проектных организаций.

Все гидротехнические сооружения по своей капитальности делятся на несколько классов. Сооружения высоких классов капитальности должны служить несколько сот лет. Чтобы они работали бесперебойно, их водосбросные отверстия нужно рассчитывать на пропуск максимальных расходов воды очень редкой повторяемости. Временные гидротехнические сооружения

рассчитываются на максимальные расходы воды более частой повторяемости.

Строительными нормами и правилами [СН и П II—И 7-65] установлены следующие расчетные ежегодные вероятности превышения, или обеспеченности, максимальных расходов воды в зависимости от класса капитальности сооружения:

Класс сооружения . . .	I	II	III	IV
$p\%$	0,01	0,1	0,5	1

Временные гидротехнические сооружения V класса рассчитываются на пропуск максимальных расходов 10%-ной обеспеченности.

Постоянные водопропускные сооружения на автомобильных дорогах рассчитываются на максимальные расходы воды следующих обеспеченностей:

Категория дороги	I—II	III—IV
Бровка насыпи	1,0	2,0
Отверстия мостов, труб	1,0	2,0
Ответвленные водоотводы	2,0	4,0
Обвалование населенных пунктов, вход в шахты, тоннели и пр. . .	0,1	0,1

При этом если наблюденный максимальный расход имеет обеспеченность меньше 1%, то он принимается в качестве расчетного.

Технические условия проектирования железных дорог предусматривают расчеты отверстий мостов и труб на пропуск следующих расходов:

а) наибольшего обеспеченностью 0,33% для больших и средних мостов и 0,2% для малых мостов и труб;

б) расчетного обеспеченностью, указанной ниже:

Категория железной дороги	I	II	III
Класс сооружения по степени капитальности	I	I и II	II
Обеспеченность расхода, %	1 (для труб 2)	1 (для труб 2)	2

Постоянные гидротехнические сооружения, разрушение которых из-за недостаточности водопропускных отверстий угрожает катастрофическим наводнениям, рассчитываются на пропуск максимальных расходов обеспеченностью 0,01% с добавлением к ним гарантийной поправки. Назначение гарантийной поправки — учесть возможность совпадения периода наблюдения над стоком реки с относительно низкими половодьями и паводками. Вычисляется гарантийная поправка по формуле

$$\Delta Q_{\max p} = \frac{aE_p}{\sqrt{n}} Q_{\max p}, \qquad (7.1)$$

или

$$\frac{\Delta Q_{\max p}}{Q_{\max p}} = \frac{aE_p}{\sqrt{n}} 100\%, \qquad (7.1')$$

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

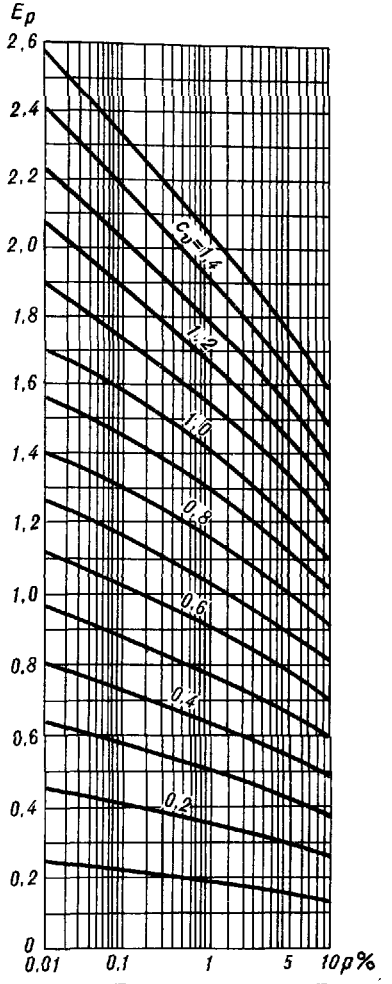


Рис. 7.1. График величины E_p для определения ΔQ_p.

Гарантийная поправка прибавляется к расчетному расходу воды. Тогда исправленный расход $Q^*_{\max p}$ определяется по формуле

$$Q^*_{\max p} = Q_{\max p} + \Delta Q_{\max p}. \qquad (7.2)$$

Из приведенных данных следует, что для практических целей нужно знать очень высокие и редко повторяющиеся максимальные расходы. Такие максимумы слабо или совсем не представлены материалами гидрометрических наблюдений. В лучшем случае, располагая данными наблюдений за 25—75 лет, мы должны определить значения максимальных расходов воды повторяемостью один раз в 100, 500 и даже 1000 лет.

В зависимости от степени достаточности (длительности) ряда наблюдений и надежности исходных данных применяются следующие методы расчета максимальных расходов воды:

а) при наличии длительного ряда гидрометрических наблюдений строится эмпирическая кривая обеспеченности, и верхняя часть экстраполируется за пределы наблюдений до заданных обеспеченностей с помощью теоретической кривой обеспеченности;

б) при наличии короткого ряда наблюдений, недостаточного для построения кривых обеспеченности, но достаточного для приведения его к длительному ряду, имеющийся короткий ряд приводится к длительному ряду и по последнему строятся кривые обеспеченности;

в) при наличии короткого ряда наблюдений, недостаточного для приведения его к длительному периоду, а также при отсутствии наблюдений по расчетному створу расчет производится косвенными методами — по методу аналогии или по формулам с обеспеченными параметрами.

§ 7.2. РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ПРИ НАЛИЧИИ ДЛИТЕЛЬНОГО РЯДА ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Длительность ряда гидрометрических наблюдений над максимальными расходами воды считается достаточной, если он включает 15—30 лет непрерывных наблюдений при $C_v = 0{,}30 \div 1{,}00$ и если стандартная ошибка определения расчетного расхода (гарантийная поправка), вычисленная по формуле (7.2) при $a = 1{,}0$, не превышает 20% его величины, а также если точки максимальных расходов на эмпирической кривой обеспеченности удовлетворительно соответствуют теоретической кривой обеспеченности.

В качестве исходных данных должны приниматься мгновенные секундные максимальные расходы. Однако сведения о мгновенных максимумах, как правило, отсутствуют, так как большинство стоковых постов не оснащено самописцами уровней или максимальными рейками. Поэтому для расчетов используются срочные максимумы. Для малых водотоков с остроконечными кратковременными пиками паводков, проходящими в промежутках между сроками водомерных наблюдений, необходимо установить соотношение между действительными мгновенными и срочными максимумами и в расчеты ввести соответствующие поправки. На больших реках максимальные расходы могут удерживаться сутки и более; в таких случаях расчеты производятся по средним суточным максимумам.

Исходные материалы по максимальным расходам воды выписываются из справочников «Ресурсы поверхностных вод СССР» и Гидрологических ежегодников (в Гидрологических ежегодниках срочные максимумы помещены в нижней строке под таблицей ежедневных расходов). В тех случаях, когда на данной реке в отдельные годы наблюдаются наибольшие значения максимальных расходов весеннего половодья или дождевых паводков, в чем можно убедиться по датам их прохождения, они выбираются за каждый год в отдельные таблицы и последующие расчеты их выполняются раздельно. Районы, по ре-

кам которых для всех площадей водосборов одновременно производятся расчеты талых и дождевых максимумов, установлены Указаниями по определению расчетных максимальных расходов талых вод СН 356-66.

Непосредственному расчету всегда предшествует анализ и оценка достоверности исходных данных по максимальному стоку. Следует учесть объем и состав гидрометрических материалов, надежность построения зависимости расходов от уровней воды и экстраполяцию ее верхней части, данные об исторических уровнях и расходах. Следует сопоставить максимальные расходы воды в смежных створах и по рекам-аналогам и в необходимых случаях произвести выборочную или сплошную их проверку.

В случае когда гидрометрические материалы вследствие их небольшого объема или низкого качества не позволяют с требуемой точностью определить фактически имевшие место максимальные расходы воды, необходим дополнительный анализ исходных материалов с привлечением данных по смежным створам с тем, чтобы исключить возможность преуменьшения величины максимальных расходов воды.

Если максимальные расходы установлены по экстраполированной части кривой связи расходов и уровней воды, необходимо тщательно проверить достоверность экстраполяции. При экстраполяции кривых расходов должен быть использован поперечный профиль реки в гидрометрическом створе, построенный до отметки наивысшего расчетного уровня воды, а также план русла и поймы реки на участке, прилегающем к гидрометрическому створу. Экстраполяцию кривой расходов следует производить раздельно для главного русла, притоков и поймы с последующим суммированием полученных результатов.

При отсутствии гидрометрических наблюдений в створе проектируемого сооружения или наличия их только за короткий период при расчете максимальных расходов воды используются соответствующие данные по ближайшим гидрометрическим створам с многолетними наблюдениями.

Максимальные расходы воды заданных обеспеченностей, или вероятностей ежегодного превышения, определяются по теоретическим кривым обеспеченности так же, как обеспеченные значения средних годовых расходов (§ 4.4).

Статистическими параметрами кривых обеспеченности максимальных расходов, как и средних годовых расходов, является среднее значение ряда максимальных расходов $\overline{Q}_{max}$, коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s. Вычисляются они по формулам (3.1), (4.1), (4.4), (4.6) или графо-аналитическим способом по трем ординатам ($Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$ и $Q_{95\%}$) сглаженной эмпирической кривой обеспеченности максимальных расходов

с использованием формул (4.10)—(4.13), т. е. теми же способами, что и соответствующие параметры годового стока.

Относительные среднеквадратические ошибки параметров кривых обеспеченности максимальных расходов воды $\sigma_{\overline{Q}_{max}}$, σ_{C_v} и σ_{C_s} определяются по формулам (3.5), (4.2), (4.3), (4.5) и (4.7).

Ошибки вычисления статистических параметров должны учитываться при назначении расчетного максимума. Так, например, если в короткий ряд наблюдений входит исторически большой максимальный расход, то учет σ_{C_v} с положительным знаком часто приводит к лучшему соответствию теоретической кривой расположению эмпирических точек.

Вследствие ограниченных рядов наблюдений над максимальным стоком значение C_s как малоустойчивого параметра обычно не вычисляется, а подбирается из условия наилучшего соответствия теоретической кривой эмпирическим точкам. Пользуются, как правило, следующими соотношениями C_s и C_v:

1) для максимумов талых вод равнинных рек $C_s=2C_v$,

2) для смешанных и дождевых максимумов равнинных рек $C_s=3C_v \div 4C_v$,

3) для смешанных и дождевых максимумов горных рек $C_s=4C_v$.

Следует подчеркнуть, что нанесение эмпирических точек на теоретическую кривую, т. е. построение эмпирической и теоретической кривых на совмещенном графике, во всех случаях является обязательным, так как критерием применимости той или иной теоретической кривой для определения расходов воды разной обеспеченности в каждом конкретном случае является ее соответствие эмпирической кривой обеспеченности. При анализе совмещенных кривых особое внимание уделяется верхней части в зоне малых обеспеченностей, которая используется при определении максимальных расходов редкой повторяемости.

Часто в короткий ряд систематических наблюдений n лет входит максимальный расход, повторяемость которого более редкая чем один раз в n лет. Точка этого расхода (первая в убывающем ряду) лежит выше кривой обеспеченности.

В этом случае по створам на данной реке или на соседних реках-аналогах с более продолжительными наблюдениями устанавливается положение (место) максимального расхода данного года в длинном ряду наблюдений N лет ($N>n$). Тогда обеспеченность такого максимума, уже более правдоподобная, вычисляется относительно N лет и точка его на кривой обеспеченности сместится влево — ближе к теоретической кривой.

Эмпирическая кривая обеспеченности строится по модульным коэффициентам $\left(k=\frac{Q_{max}}{Q_{0\,max}}\right)$ или максимальным расходам

убывающего ряда и соответствующим им обеспеченностям, которые и вычисляются по формуле (2.9)

$$p = \frac{m - 0{,}3}{n + 0{,}4} \cdot 100\%$$

или по формуле

$$p = \frac{m}{n + 1} \cdot 100\%, \qquad (7.3)$$

где $m = 1, 2, \ldots, n - 1$, n — порядковый номер членов убывающего ряда за n лет наблюдений.

Формула (2.9) основана на предположении, что рассматриваемый n-летний период по своей водности занимает медианное положение среди других n-летних периодов. Она принята методическими рекомендациями по составлению справочников по водным ресурсам СССР для расчетов всех гидрологических элементов, в том числе и максимальных расходов. Формула (7.3) основана на предположении, что рассматриваемый n-летний период характеризуется среди других n-летних периодов повышенной водностью высоких расходов и пониженной — низких. Поэтому она дает запас в сторону преувеличения максимальных расходов. Эта формула рекомендуется СН и П П—И. 7-65.

Расчетные величины максимальных расходов, так же как и средних годовых расходов воды, рекомендуется определять по биномиальной кривой обеспеченности (Пирсона III типа) и кривым обеспеченности трехпараметрического гамма-распределения (кривым С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля), а также по логарифмически нормальной кривой обеспеченности.

При $C_s = (2 \div 3)C_v$ рекомендуется пользоваться биномиальной кривой обеспеченности. Если $C_s > 3C_v$, что часто имеет место при определении максимальных расходов воды дождевых паводков, предпочтительнее пользоваться кривыми обеспеченности Крицкого и Менкеля или логарифмически нормальной кривой обеспеченности. Отметим, что при $C_s = (2 \div 3)C_v$ все три кривые обеспеченности дают примерно одинаковые результаты.

Порядок определения ординат кривых обеспеченности при соответствующих C_v и C_s/C_v, построения кривых и определения обеспеченных расходов изложен в § 4.4.

Пример 7.1. Определить параметры кривых обеспеченности и максимальные расходы воды дождевых паводков различной обеспеченности р. Амура у с. Покровки ($F = 370\,000$ км^2) по данным гидрометрических наблюдений за 67 лет (1896—1930, 1932—1937, 1939—1966 гг.). Максимальные расходы выписываем из справочника «Ресурсы поверхностных вод СССР» и Гидрологических ежегодников.

Решим поставленную задачу тремя способами: 1) способом моментов, 2) способом наибольшего правдоподобия, 3) графо-аналитическим способом.

Расчеты сведены в табл. 7.1, которая приводится сокращенной.

Таблица 7.1

Вычисление коэффициента вариации и параметра λ

р. Амур — с. Покровка, $F=37\,000$ *км*²

№ п/п	Год	Q_{max} год	Q_{max} в убыв. пор.	k	$k-1$		$(k-1)^2$	lg k	$p=\frac{m-0{,}3}{n+0{,}4}\cdot 100$
					+	−			
1	1896	6 960	19 800	3,75	2,75		7,5625	0,574	1,04
2	1897	11 000	11 700	2,22	1,22		1,4884	0,346	2,52
3	1898	2 940	11 000	2,08	1,08		1,1660	0,318	4,00
4	1899	4 050	10 900	2,07	1,07		1,1450	0,316	5,49
5	1900	4 210	10 300	1,95	0,95		0,9025	0,290	6,98
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
58	1956	11 700	2 940	0,56		0,44	0,1936	1,748	85,6
59	1957	4 560	2 740	0,52		0,48	0,2304	1,716	87,1
60	1958	19 800	2 600	0,49		0,51	0,2601	1,690	88,6
61	1959	7 160	2 560	0,48		0,52	0,2704	1,681	90,1
62	1960	8 110	2 470	0,47		0,53	0,2809	1,672	91,6
63	1961	4 770	2 180	0,41		0,59	0,3481	1,613	93,0
64	1962	6 160	2 100	0,40		0,60	0,3600	1,602	94,5
65	1963	4 900	2 080	0,39		0,61	0,3721	1,592	96,0
66	1964	4 100	2 000	0,38		0,62	0,3844	1,580	97,5
67	1966	4 780	1 330	0,25		0,75	0,5625	1,398	99,0
	Сумма	353 860		67	0		20,3437	−3,527	

$$\overline{Q}_{max}=5280\ м^3/сек,$$

$$C_v=\frac{20{,}3437}{67}=0{,}55,$$

$$\sigma_{C_v}=1{,}2\%,$$

$$\lambda=\frac{-3{,}527}{67}=-0{,}0526$$

Каждым способом получены следующие величины:

1) способом моментов $\overline{Q}_{max}=5280\ м^3/сек$, $C_v=0{,}55$;

2) способом наибольшего правдоподобия $\overline{Q}_{max}=5280\ м^3/сек$, $\lambda=-0{,}0526$ и при $C_s=3C_v$ $C_v=0{,}52$;

3) графо-аналитическим способом $\overline{Q}_{max}=5200\ м^3/сек$, $C_v=0{,}58$, $C_s=1{,}55$. (Сглаженная эмпирическая кривая, с которой снимались три расчетные ординаты, не приводится.)

На рис. 7.2 приводятся теоретические кривые обеспеченности, построенные по вычисленным параметрам. В первом и третьем случае приняты $C_s=4C_v$. Оценивая их расположение относительно эмпирических точек, можно сказать, что кривые, построенные для $C_v=0{,}55$ и $C_v=0{,}58$ при $C_s=4C_v$, вполне соответствуют данным наблюдений. Любая из них может быть принята в качестве расчетной. Третья кривая при $C_v=0{,}52$ и $C_s=3C_v$ в верхней зоне недостаточно

хорошо отражает данные наблюдений и дает заниженные максимумы редких повторяемостей.

Выше теоретических кривых лежит точка максимального расхода выдающегося паводка 1958 г. Она значительно отклоняется от согласного расположения всех остальных эмпирических точек. Модульный коэффициент этого максимума равен 3,75, в то время как последующие их значения составляют 2,22; 2,08; 2,07.

Исторически высокий паводок 1958 г. сформировался в результате выпадения интенсивных дождей при прохождении серии южных циклонов. Эти дожди

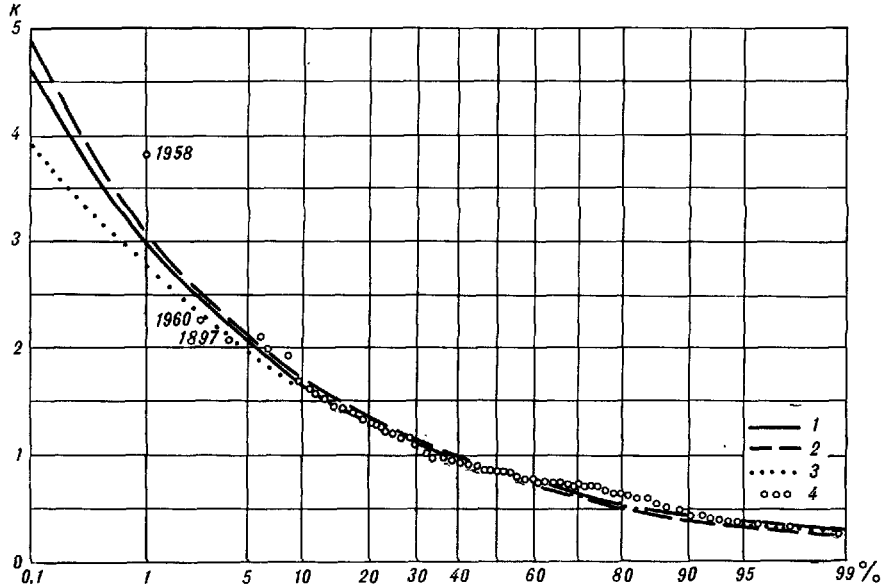


Рис. 7.2. Кривые обеспеченности максимальных расходов воды дождевых паводков р. Амура у с. Покровки за 67 лет наблюдений.

Теоретические кривые: *1* — при $C_v=0{,}55$ и $C_s=4C_v$; *2* — при $C_v=0{,}58$ и $C_s=4C_v$; *3* — при $C_v=0{,}52$ и $C_s=3\,C_v$, *4* — эмпирическая кривая.

охватили большую территорию и на реках бассейна Верхнего Амура наблюдались максимальные расходы воды, обеспеченность которых, как показывают многие исследования, соответствуют 2—1%, а в ряде случаев и меньше. Такой максимальный расход, как в 1958 г. (19 800 *м*³/*сек*), наблюдался на р. Амуре у с. Покровки и в 1872 г. Учитывая цикличность выдающихся наводнений, можно предполагать, что повторяемость максимумов 1958 и 1872 гг. более редкая, чем установленная по эмпирической формуле. Так, если сместить точку 1958 г. на кривые при $C_v=0{,}55\div0{,}58$, то обеспеченность этого максимума составит 0,3—0,4%. При вычислении по формуле (4.9) обеспеченность равна 1%.

В табл. 7.2 приводятся максимальные расходы воды р. Амура у с. Покровки редкой повторяемости, вычисленные при разных значениях установленных параметров.

Учет особо выдающихся максимальных расходов. Параметры кривой обеспеченности $\overline{Q}_{max}$ и C_v, а также расчетные значения максимальных расходов $Q_{max\,p}$ могут быть уточнены

Таблица 7.2

Максимальные расходы воды редкой повторяемости

р. Амур — с. Покровка

	$p\%$				
	0,1	1	3	5	10
	$\overline{Q}_{max}=5280$ $м^3/сек$, $C_v=0{,}55$, $C_s=4C_v$				
k_p	4,61	2,96	2,30	2,03	1,67
$Q_{max\,p}$ $м^3/сек$	24 300	15 600	12 100	10 700	8 800
	$\overline{Q}_{max}=5200$ $м^3/сек$, $C_v=0{,}58$, $C_s=4C_v$				
k_p	4,89	3,10	2,38	2,08	1,70
$Q_{max\,p}$ $м^3/сек$	25 400	16 100	12 400	10 800	8 800
	$\overline{Q}_{max}=5280$ $м^3/сек$, $C_v=0{,}52$, $C_s=3C_v$				
k_p	3,80	2,74	2,23	1,99	1,67
$Q_{max\,p}$ $м^3/сек$	20 100	14 500	11 800	10 500	8 800

и приведены к многолетним значениям, если имеется достаточно надежный максимальный расход Q_N, относительно которого известно, что он является наибольшим за $N>n$ лет. Уточненные характеристики вычисляются по формулам С. Н. Крицкого и Н. Ф. Менкеля в случае, когда:

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

$$\overline{Q}' = \frac{1}{N}\left(Q_N + \frac{N-1}{n}\sum_1^n Q_i\right), \tag{7.4}$$

$$C_v' = \sqrt{\frac{1}{N-1}\left[\left(\frac{Q_N}{\overline{Q}'}-1\right)^2 + \frac{N-1}{n}\sum_1^n\left(\frac{Q_i}{\overline{Q}'}-1\right)^2\right]}; \tag{7.5}$$

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:

$$\overline{Q}' = \frac{1}{N}\left(Q_N + \frac{N-1}{n-1}\sum_1^{n-1} Q_i\right), \tag{7.6}$$

$$C_v' = \sqrt{\frac{1}{N-1}\left[\left(\frac{Q_N}{\overline{Q}'}-1\right)^2 + \frac{N-1}{n-1}\sum_1^{n-1}\left(\frac{Q_i}{\overline{Q}'}-1\right)^2\right]}. \tag{7.7}$$

Эмпирическая обеспеченность экстремального расхода определяется по формуле

$$P_N = \frac{1-0{,}3}{N+0{,}4} \cdot 100 = \frac{70}{N+0{,}4}\,\%. \qquad (7.8)$$

Пример 7.2. Определить максимальные расходы воды весеннего половодья р. Волги у г. Горького 1 и 0,1%-ной обеспеченности для нормальных и чрезвычайных условий эксплуатации сооружений, т. е. с учетом гарантийной поправки и не учитывая ее.

Для решения поставленной задачи используем данные наблюдений у г. Горького за 60 лет, с 1881 по 1949 г. (табл. 7.3).

Таблица 7.3

Максимальные расходы воды Q_{max} в $м^3/сек$ р. Волги у г. Горького

№ п/п	Год	Q_{max} $м^3/сек$	№ п/п	Год	Q_{max} $м^3/сек$
1	1881	29 900	25	1905	20 770
2	1882	11 670	26	1906	19 770
3	1883	15 310	. . .	. . .	. . .
4	1884	20 770	40	1920	25 880
5	1885	12 960	41	1921	9 860
6	1886	15 400	42	1922	18 940
. . .	. . .	. . .	43	1923	21 490
20	1900	16 770	44	1924	28 630
21	1901	24 450	45	1925	11 240
22	1902	12 520	46	1926	38 000
23	1903	21 260	. . .	. . .	. . .
24	1904	16 940	60	1949	9 000

В составе наблюденных максимальных расходов воды имеется максимум 1926 г. 38 000 $м^3/сек$, который является наибольшим не только за время наблюдений, но и за последние 235 лет.

Расчет выполним в двух вариантах:

1) непосредственно по имеющемуся ряду без учета редкой повторяемости расхода 1926 г.;

2) с учетом того обстоятельства, что расход 1926 г., как установлено анализом исторических материалов, имеет более редкую повторяемость, чем за период непосредственных наблюдений.

Вычисления параметров кривой обеспеченности: среднего значения из максимальных расходов $\overline{Q}_{max}$ и коэффициента вариации C_v — в первом варианте расчета ведем по той же схеме, что и средних годовых расходов различной обеспеченности.

По ряду наблюдений продолжительностью 60 лет, включая и 1926 г. без учета его редкой повторяемости, получены $\overline{Q}_{max}=19\,500$ $м^3/сек$, $C_v=0{,}34$ и принято $C_s=2C_v=0{,}68$.

Для расчета по второму варианту вычисляем сумму максимальных расходов $\sum_{i=1}^{i=59} Q_{i\,max}$ и сумму $(k-1)^2$ без учета максимума 1926 г. и затем, пользуясь формулами (7.6) и (7.7), вычисляем параметры кривой обеспеченности с учетом более редкой повторяемости расхода 1926 г. В данном случае они получены равными: $\overline{Q}'_{max}=19\,200$ $м^3/сек$, $C_v'=0{,}29$ и принято $C_s'=2C_v'=0.58$.

На рис. 7.3 показаны теоретические кривые обеспеченности, построенные при указанных выше значениях параметров, и точки эмпирического ряда. Обеспеченность максимума 1926 г. во втором варианте расчета вычислена по формуле (7.8).

Гарантийные поправки к максимальным расходам обеспеченностью 0,1 и 1% при вычисленных коэффициентах вариации 0,34 и 0,29 в относительном выражении получим по формуле (7.1). Коэффициент a принимаем равным 0,7,

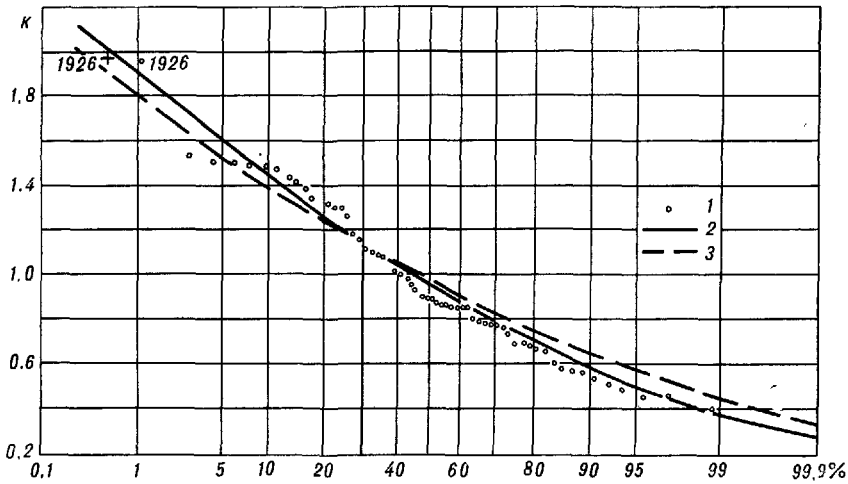


Рис. 7.3. Кривые обеспеченности максимальных расходов воды р. Волги у г. Горького.

1 — эмпирическая; *2* — теоретическая при $Q_{max}=19\,500$ *м³/сек*, $C_v=0{,}34$, $C_s=2C_v$, *3* — теоретическая с учетом повторяемости максимума 1926 г. 1 раз в 235 лет, при $Q_{max}=19\,200$ *м³/сек*, $C_v=0{,}29$, $C_s=2C_v$.

так как р. Волга до замыкающего створа у г. Горького достаточно хорошо изучена в гидрологическом отношении. Значения E_p снимаем с графика (см. рис. 7.1).

По первому варианту при $C_v=0{,}34$ для обеспеченности $p=0{,}1\%$

$$\frac{\Delta Q_{0,1\%}}{Q_{0,1\%}}=\frac{0{,}7\cdot 0{,}64}{60}\cdot 100=5{,}8\%,$$

для $p=1\%$

$$\frac{\Delta Q_{1\%}}{Q_{1\%}}=\frac{0{,}70\cdot 0{,}58}{\sqrt{60}}\cdot 100=5{,}2\%.$$

По второму варианту при $C_v=0{,}34$ для обеспеченности $p=0{,}1\%$

$$\frac{\Delta Q_{0,1\%}}{Q_{0,1\%}}=\frac{0{,}7\cdot 0{,}56}{\sqrt{235}}\cdot 100=2{,}6\%,$$

для $p=1\%$

$$\frac{\Delta Q_{1\%}}{Q_{1\%}}=\frac{0{,}70\cdot 0{,}48}{\sqrt{235}}\cdot 100=2{,}2\%.$$

Максимальные расходы воды р. Волги у г. Горького заданных обеспеченностей с гарантийными поправками к ним по обоим вариантам расчета представлены в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Максимальные расчетные расходы в $м^3/сек$, р. Волги у г. Горького

	$Q_{1\%}$	$\Delta Q_{1\%}$	$Q^*_{1\%}=Q_{1\%}+\Delta Q_{1\%}$	$Q_{0,1\%}$	$\Delta Q_{0,1\%}$	$Q^*_{0,1\%}=Q_{0,1\%}+\Delta Q_{0,1\%}$
1-й вариант	38 200	2 000	40 200	46 700	2 700	49 400
2-й вариант	34 400	800	35 200	41 100	1 100	42 200

Приведение параметров кривых обеспеченности максимальных расходов воды к многолетнему периоду. Приведением гидрологических и метеорологических элементов к многолетнему или длительному периоду, как известно, называется определение многолетних значений этих элементов и их параметров по сравнительно короткому или нерепрезентативному (маловодному или многоводному) ряду наблюдений.

Параметры максимальных расходов ($Q_{0\,max}$, C_v и C_s) должны быть приведены к многолетним значениям, если гарантийная поправка к расчетному максимуму $\Delta Q_{max\,p}$, вычисленному по ряду непосредственных наблюдений, превышает 20% или если в зоне малых обеспеченностей точки фактически наблюденных расходов значительно отклоняются от теоретической кривой обеспеченности. Для этого необходимо иметь ряд непосредственных наблюдений в расчетном створе продолжительностью не менее 10—15 лет и подобрать аналог с многолетними наблюдениями, не менее чем за 20—30 лет. Выполняется приведение по графическим или аналитическим зависимостям аналогично приведению параметров годового стока (см. § 3.3 и 4.2). Построение графических связей предпочтительнее, так как в этом случае более наглядно можно установить вид связи и оценить ее тесноту. Заключается приведение статистических параметров максимальных расходов к многолетнему периоду в следующем.

1. Из соседних рек или створов наблюдений на данной реке с периодом наблюдений не менее 20—30 лет выбирается река-аналог. Река-аналог выбирается исходя из однородности условий формирования максимальных расходов воды. Это значит, что оба бассейна находятся в одном и том же природном районе, имеют близкие величины снегозапасов или характеристики дождей, характеристики озерности, заболоченности, залесенности и рельефа; отношение площадей их водосборов не должно превышать пяти при $F \geqslant 1000$ $км^2$ и десяти при $F < 1000$ $км^2$.

2. За период одновременных наблюдений n лет в расчетном створе и на предполагаемых одной-двух реках-аналогах строятся

совмещенные хронологические графики колебаний максимальных расходов по годам. Если эти колебания по расчетному створу и аналогам являются синхронными, то предпочтение отдается реке или створу с более продолжительными наблюдениями.

3. По выбранному аналогу с длинным рядом наблюдений за годы параллельных наблюдений строится график связи между одновременно наблюденными максимальными расходами Через центр тяжести точек проводится линия связи, угол которой ориентируется на точки больших и малых значений расходов.

Связь считается удовлетворительной и принимается в качестве расчетной, если отклонение основной массы точек от средней линии связи не превышает 10—15% и коэффициент корреляции соответственных значений максимальных расходов расчетного створа и аналога не менее 0,8. Хорошие результаты приведения получаются в том случае, если точки равномерно распределяются по всей амплитуде колебаний расходов за совместный период наблюдений, и тем более хорошей, если эта амплитуда близка к многолетней. Коэффициент корреляции r вычисляется по формуле (3.9).

Пользуясь графиком связи максимальных расходов расчетного створа и опорного створа-аналога и имея параметры кривой обеспеченности максимального стока в опорном пункте, устанавливаются многолетние значения параметров кривой обеспеченности максимальных расходов для расчетного створа.

Значение среднего многолетнего максимального расхода может быть установлено по формулам (3.13)—(3.16), а коэффициента вариации — по формулам (4.14)—(4.17). Все три параметра могут быть приведены к многолетнему периоду одновременно графо-аналитическим способом.

Согласно СН и П II—И. 7-65, приведение параметров кривой обеспеченности максимальных расходов к многолетнему периоду производится по формулам (3.16) и (4.14). Если зависимость, используемая для приведения параметров ряда максимальных расходов воды к многолетним значениям, приближается к функциональной, допускается применение графического приема приведения.

Для учебных целей можно рекомендовать удлинение ряда наблюдений в расчетном створе. В этом случае, пользуясь графиком связи, восстанавливаются максимумы за все пропущенные годы, и общий ряд из наблюденных и восстановленных расходов составляет N лет, равный числу лет наблюдений в створе реки-аналога.

Затем по удлиненному ряду вычисляются многолетние значения $\overline{Q}_{max}$, C_v, C_s и строится кривая обеспеченности.

Изложенные выше способы приведения параметров кривых обеспеченности к многолетним значениям обычно дают хорошие результаты и применимы в отношении максимальных расходов и слоев весеннего половодья.

Что же касается максимальных расходов и слоев ливневых и дождевых паводков, то удовлетворительные связи между их характеристиками даже для соседних бассейнов, сходных между собой по физико-географическим условиям, как правило, отсутствуют. Объясняется это тем, что ливни и ливневые дожди на большей части территории Советского Союза выпадают отдельными «пятнами», не равномерно орошая даже относительно малые смежные водосборы. В связи с этим приведение параметров $\overline{Q}_{max}$, $\overline{h}$, C_v, C_s ливневых и дождевых паводков к многолетнему периоду наблюдений обычно не производится.

Исключением являются реки Дальнего Востока и в некоторых случаях реки Прибалтики и Северо-Запада ЕТС, где ливневые и обложные дожди одновременно орошают большие территории и связь между характеристиками паводков соседних водосборов имеет место.

При отсутствии наблюдений над максимальными расходами, а также при ограниченных рядах наблюдений, недостаточных для приведения их к многолетнему периоду, максимальных расходов воды весеннего половодья и дождевых паводков рассчитываются косвенными методами. Формулы определения максимальных расходов заданных обеспеченностей содержат обеспеченные значения основных паводкообразующих факторов (параметров) и делятся на формулы или методы расчета максимальных расходов весенних половодий и максимальных расходов дождевых паводков.

Пример 7.3. В этом примере, заимствованном из методических рекомендаций к составлению справочника по водным ресурсам СССР, вып. 7, ч. 1, рассмотрим приведение параметров кривых обеспеченности слоя и максимальных расходов весеннего половодья короткого ряда к норме графо-аналитическим методом Г. А. Алексеева.

Порядок приведения рассмотрим на примере р. Воложбы у д. Воложбы ($F=1200$ км^2) с коротким рядом наблюдений.

В качестве аналога принимается р. Тихвинка у с. Горелухи ($F=2200$ км^2) с рядом наблюдений 78 лет, которая является опорным пунктом в данном районе.

Решение поставленной задачи заключается в следующем:

1. За годы одновременных наблюдений на р. Воложбе у д. Воложбы и в опорном пункте на р. Тихвинке у с. Горелухи строится график связи слоя стока весеннего половодья (рис. 7.4). На график наносятся данные соответственных лет и равнообеспеченные величины слоя.[1] Связь достаточно тесная и может быть принята в качестве расчетной.

---

[1] Использование связи равнообеспеченных величин возможно при наличии между ними обычной корреляционной связи, характеризуемой величиной коэффициента корреляции порядка 0,7—0,8.

2. По материалам наблюдений в опорном пункте строится многолетняя кривая обеспеченности слоя стока весеннего половодья (рис. 7.5). Для ее построения значения слоя h хронологического ряда наблюдений переписываются в убывающем порядке и по формуле (2.9) определяется обеспеченность p_m каждого члена ряда. Величины h и p_m наносятся на клетчатку вероятностей и по их точкам проводится сглаженная эмпирическая кривая обеспеченности, наилучшим образом отвечающая наблюденным данным.

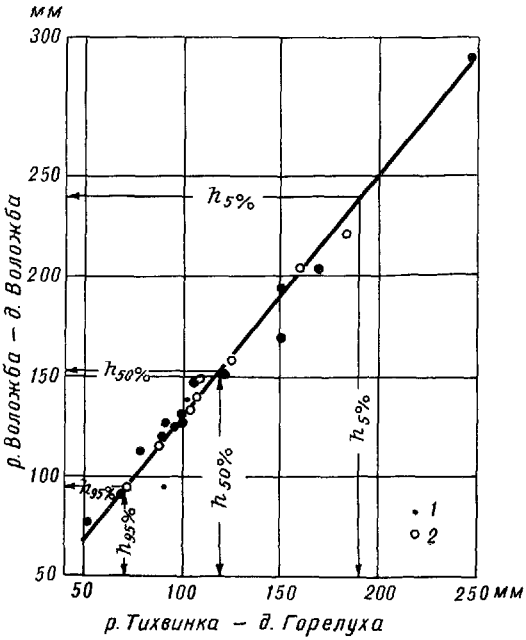


Рис. 7.4. График связи слоя стока весеннего половодья р. Тихвинки у с. Горелухи и р. Волжбы у д. Воложбы.

1 — данные соответственных лет, 2 — равнообеспеченные величины.

3. С кривой обеспеченности (см. рис. 7.5) снимаются три характерные ординаты $h_{5\%}$, $h_{50\%}$, $h_{95\%}$ — значения слоя 5, 50 и 95%-ной обеспеченности опорного пункта. Они соответственно равны 186, 120 и 73 *мм*.

4. По величинам $h_{5\%}$, $h_{50\%}$, $h_{95\%}$ опорного пункта с графика связи (см рис. 7.4) снимаются слои стока р. Воложбы у д. Воложбы тех же обеспеченностей. Они равны $h_{5\%}=240$ *мм*, $h_{50\%}=152$ *мм* и $h_{95\%}=95$ *мм*.

5. По полученным опорным ординатам слоя стока р. Воложбы у д. Воложбы вычисляются параметры кривой обеспеченности слоя стока $\overline{h}$, C_v и C_s, приведенные к многолетнему периоду. Вычисления производятся по формулам (4.10)—(4.13).

6. По ряду непосредственных наблюдений на р. Воложбе у д. Воложбы строится график связи равнообеспеченных величин слоя стока и максимальных срочных расходов воды (рис. 7.6).

7. С помощью графика связи (рис. 7.6) снимаются максимальные расходы 5, 50 и 95%-ной обеспеченности, соответствующие слоям тех же обеспе-

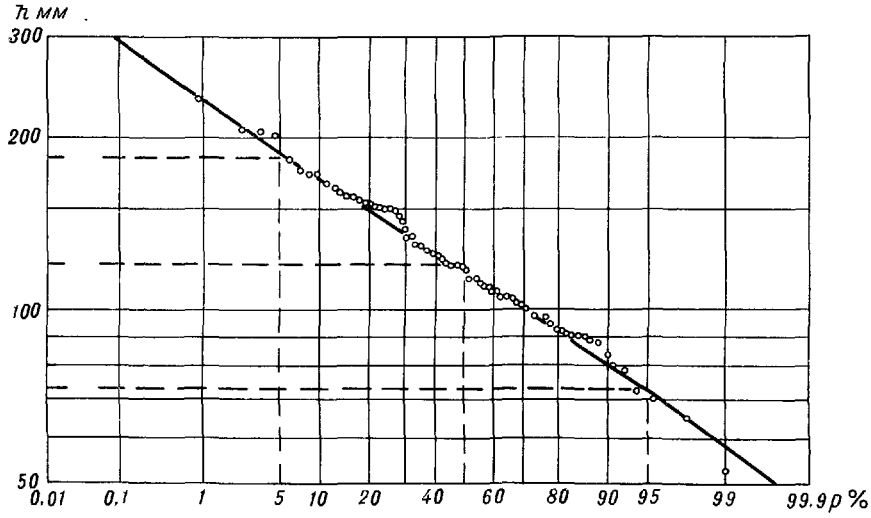


Рис. 7.5. Многолетняя кривая обеспеченности слоя стока весеннего половодья в бассейне р. Тихвинки у с. Горелухи и использование ее для приведения к многолетнему периоду слоя, C_v и C_s при коротких рядах наблюдений графо-аналитическим методом по трем точкам.

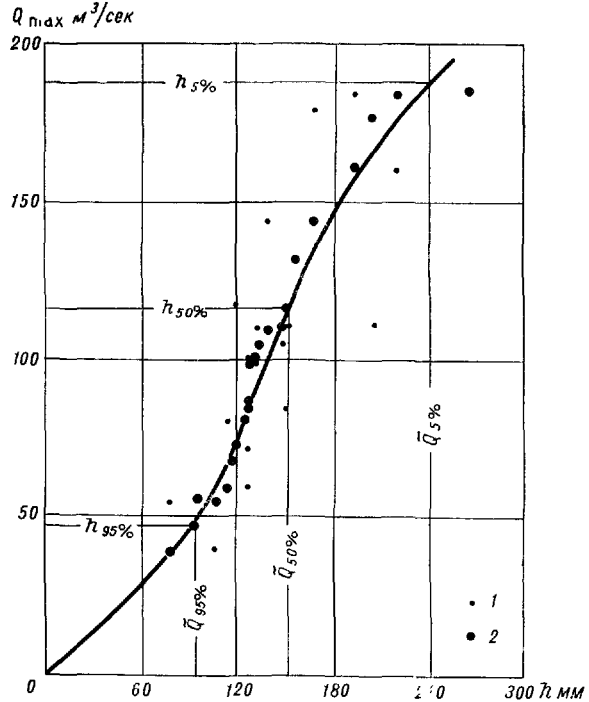


Рис. 7.6. Графики связи максимальных срочных расходов воды со слоем стока весеннего половодья р. Воложбы у д. Воложбы.

1 — данные соответственных лет, *2* — равнообеспеченные величины.

ченностей. Они получены равными: $Q_{5\%} = 188$ *м³/сек*, $Q_{50\%} = 116$ *м³/сек* и $Q_{95\%} = 48$ *м³/сек*.

8. По полученным трем характерным ординатам, пользуясь формулами (4.10)—(4.13), вычисляются многолетние параметры кривой обеспеченности максимальных расходов воды весеннего половодья $\overline{Q}_{max}$, C_v и C_s р. Воложбы у д. Воложбы.

Вычисленные таким образом многолетние параметры кривых обеспеченности слоя стока и максимальных расходов воды весеннего половодья р. Воложбы у д. Воложбы равны:

1) по слою стока $\overline{h} = 157$ *мм*, $C_v = 0{,}29$, $C_s = 0{,}75$;

2) по максимальным расходам $\overline{Q}_{max} = 117$ *м³/сек*, $C_v = 0{,}36$, $C_s = 0{,}10$.

§ 7.3. ФОРМУЛЫ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА

На больших и средних реках большей части территории Советского Союза весеннее половодье превышает дождевые паводки, поэтому вычисляются максимальные расходы талых вод. На малых водотоках, $F < 100 \div 200$ *км*, а в отдельных районах и на больших реках эти расходы уступают максимумам дождевых паводков, которые здесь являются расчетными. Поэтому практический интерес к дождевым паводкам не меньший, а при строительстве железных и автомобильных дорог даже больший, чем к весеннему половодью. Кроме того, нужно учесть, что данных наблюдений над максимальными расходами дождевых паводков очень мало, а на малых водотоках многих районов они практически отсутствуют. Часто качество этих данных низкое, так как мгновенные максимумы быстро проходящих ливневых и дождевых паводков не всегда фиксируются при наблюдениях в обычные сроки.

Преобладающее большинство водопропускных и водосбросных сооружений проектируется и строится на реках и малых водотоках, не изученных в отношении максимального стока. И в тех случаях, когда проектируется сооружение на изученной реке, створ его, как правило, не совпадает со створом наблюдений. Поэтому расчеты максимальных расходов воды чаще всего выполняются при отсутствии гидрометрических наблюдений над максимальным стоком по формулам или по аналогам.

Массовое строительство гидротехнических сооружений, особенно мостовых переходов на реках и малых водотоках в период реконструкции и бурного развития народного хозяйства нашей страны, способствовало широким исследованиям формирования и разработке косвенных методов расчета максимального стока весеннего половодья и дождевых паводков.

В настоящее время имеется большое количество теорий расчета паводочного стока, методов и формул, что объясняется научным интересом и практической важностью этой проблемы.

Среди множества формул расчета максимальных расходов талых и дождевых вод широкую известность получили формулы Д. И. Кочерина, Д. Л. Соколовского, М. Н. Протодьяконова,

Г. А. Алексеева, А. В. Огиевского, В. И. Мокляка, М. Ф. Срибного, К. П. Воскресенского, А. Н. Бефани, Е. В. Болдакова и Н. Н. Чегодаева, И. И. Шереметьева и др. Многие формулы носят региональный характер и применимы для отдельных районов.

Наряду с авторскими формулами имеются официальные ведомственные инструкции, руководства и указания для расчетов максимального стока, которые являются обязательными при определении размеров мостов и других водопропускных или водосбросных отверстий. Примером таких нормативных документов могут служить: «Инструкция по расчету стока малых бассейнов» (ВСН 63-61), утвержденная Министерством транспортного строительства и Министерством путей сообщения (1962 г.), применяемая при проектировании водопропускных сооружений на железных и автомобильных дорогах; «Расчетные нормы при проектировании осушительных систем в центральной части нечерноземной полосы РСФСР» Росгипроводхоза (1958 г.); «Указания по определению расчетных максимальных расходов талых вод при отсутствии или недостаточности гидрометрических наблюдений» (СН 356-66), разработанные Государственным гидрологическим институтом и утвержденные Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства (1966 г.).

Точность максимумов, вычисленных по той или иной формуле или методу, зависит прежде всего от надежности обоснования главных расчетных параметров натурными данными и точности этих данных, а также возможности корректирования параметров по мере увеличения объема материалов наблюдения над максимальным стоком. Это очень важное требование к расчетным формулам учитывается при выборе той или иной из них или построении новой для решения практических задач. Например, широко известная формула Д. И. Кочерина для расчета максимального стока весеннего половодья в свое время уступила место формуле Д. Л. Соколовского, которая является дальнейшим развитием и усовершенствованием формулы Кочерина главным образом потому, что параметры первой обоснованы наблюдениями в 120 створах, а второй — в 280 створах рек Европейской части СССР. При составлении технических указаний (СН 356-66), которые заменили формулу Соколовского, ГГИ использованы гидрометрические данные уже в 1587 створах рек той же территории, в том числе по 76 створам стоковых станций. И тем не менее для уточнения параметров расчетной формулы эти указания не исключают необходимость использования дополнительных материалов кратковременных наблюдений, результатов предшествующих исследований и данных по меткам высоких вод, а также производства полевых гидрологических исследований.

Вторым не менее важным требованием, предъявляемым к расчетным формулам, является простота самой формулы и ме-

годов определения ее параметров. Например, известная формула НТК НКПС 1928 г., даже при очень слабой обоснованности ее основного параметра α, длительное время применялась на практике и в большинстве случаев давала удовлетворительные результаты благодаря своей простоте, не содействовавшей накоплению ошибок. Кроме того, при неизбежной схематизации сложного природного процесса расчетные формулы и их параметры должны учитывать основные факторы формирования паводков и максимальных расходов.

Однако нужно иметь в виду, что при всех благоприятных обстоятельствах точность максимумов, вычисленных по формулам, не может быть выше точности гидрометрических материалов по максимальным расходам, которая не всегда бывает достаточной.

Все формулы максимальных расходов весенних половодий и дождевых паводков обычно делятся на три группы:

1) редукционные формулы, отражающие убывание (редукцию) модуля максимального стока с возрастанием площади водосбора или времени добегания;

2) формулы, основанные на убывании (редукции) максимальной интенсивности дождя с увеличением интервала осреднения, или формулы предельной интенсивности стока;

3) объемные формулы, выражающие максимальный расход в зависимости от объема или слоя, продолжительности и геометрической формы паводка.

Редукционные формулы и формулы предельной интенсивности являются однофазовыми, так как они освещают только одну фазу паводка — максимальный расход.

Объемные формулы ставят своей задачей учитывать весь ход паводка и его объем. Гидрограф схематизируется по заданной геометрической фигуре. Редукция максимального модуля учитывается ими в неявном виде через продолжительность паводка или половодья.

Отдельные формулы занимают промежуточное положение.

Несмотря на внешние различия, а иногда и условность деления, большинство формул максимальных расходов путем несложных математических действий преобразуются одна в другую и взаимно заменяются. Различие их заключается главным образом в способах определения расчетных параметров и учете стокообразующих факторов.

Преобладающее большинство формул максимальных расходов дождевых паводков и весенних половодий получено из широко известной генетической формулы стока, которая основана на суммировании притока элементарных объемов (расходов) воды в процессе их формирования на различных частях бассейна и добегания к замыкающему створу. Генетическая формула основана на теории изохрон и отражает общий процесс формирования паводков при выпадении дождей и снеготаянии,

что позволяет учесть ход осадков или водоотдачи, а также некоторые индивидуальные особенности речных бассейнов и получить весь гидрограф паводка. Из нее следуют те основные принципы и зависимости, которые лежат в основе построения расчетных формул максимальных расходов и интенсивности осадков. Поэтому прежде чем перейти к изложению расчетных формул и практическому пользованию ими, познакомимся с генетической формулой стока и теми важными выводами, которые вытекают из нее для расчета максимального стока и интенсивности дождей или водоотдачи.

1. Пусть имеется ход дождя или снеготаяния продолжительностью $t_в$ и общим слоем x *мм* за вычетом потерь воды на инфильтрацию в почву и аккумуляцию в микрорельефе, т. е. ход интенсивности водоотдачи с бассейна (рис. 7.7 *а*). Этот дождь одинаково орошает три рядом расположенных речных бассейна разных размеров (рис. 7.7 *в*).

2. Зададимся расчетной скоростью v *м/сек*, одинаковой для русловой и склоновой ручейковой сети и постоянной во времени (в течение формирования паводка).

3. Установив длину водотоков L *км* (от наиболее удаленной части бассейна до замыкающего створа), вычислим для каждого из них общее время добегания (в часах, сутках):

$$\tau_1 = \frac{L_1}{v}, \quad \tau_2 = \frac{L_2}{v}, \quad \tau_3 = \frac{L_3}{v}.$$

4. В соответствии с продолжительностью τ_1, τ_2, τ_3 зададимся расчетным интервалом времени $\tau_0 = 10$, 20, 30, 60 мин., 2—12 час., в конце которого каждый раз измеряется (вычисляется) в замыкающем створе расход воды Q_1, Q_2 и т. д.

5. По расчетному интервалу времени τ_0 перестроим график хода водоотдачи в виде столбчатой диаграммы со слоем водоотдачи h_1 *мм* в первый интервал, h_2 *мм* во второй и т. д. (см. рис. 7,7 *а*).

6. По имеющимся τ_0 и v вычислим расчетную длину $l_0 = v\tau_0$ *км*.

7. Начиная от расчетного створа каждого бассейна, вверх по всей гидрографической сети и склонам откладываем l_0 и фиксируем точки 1, 2, 3 и т. д., равноудаленные от замыкающего створа по времени добегания τ_0, $2\tau_0$, $3\tau_0$ и т. д. или l_0, $2l_0$, $3l_0$ и т. д., через которые проводим сплошные линии. Линии таких точек, т. е. точек, равноудаленных от замыкающего створа по времени добегания, называются изохронами стока (см. рис. 7.7 *в*). Расстояние между смежными изохронами равно l_0.

Известно, что стекание воды со склонов происходит по мелкой весьма извилистой ручейковой сети, не представленной на картах. Поэтому при построении изохрон будем считать, что стекание воды со склонов в ближайшее русло происходит по линиям

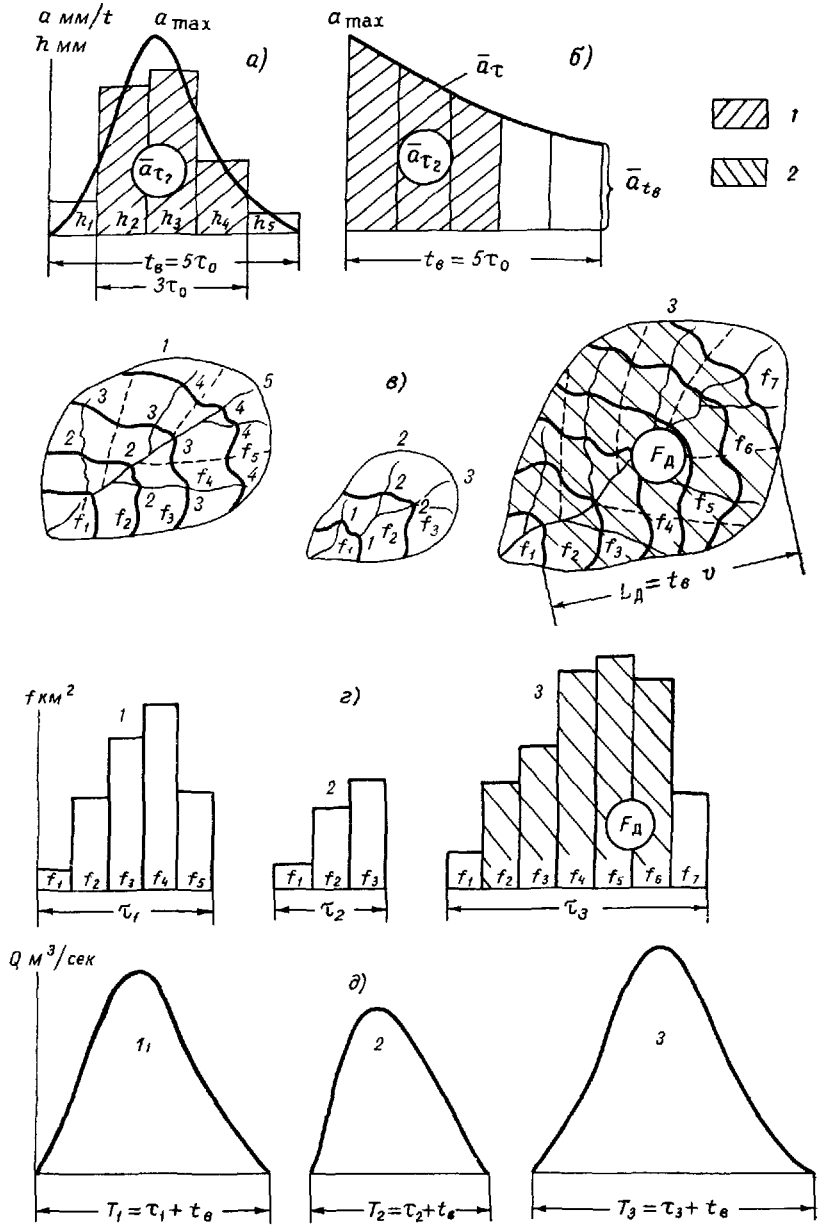


Рис. 7.7. Схема формирования паводков при разных соотношениях τ и $t_в$

а — график хода осадков; *б* — зависимость $\bar{a}_\tau = f(\tau)$; *в* — речные бассейны (*1, 2, 3*) разных размеров с изохронами, *г* — графики распределения площадей одновременного стекания (*1, 2, 3*), *д* — вычисленные гидрографы паводков (*1, 2, 3*) *1* — действующая часть осадков $\bar{a}_\tau$ при $\tau < t_в$ *2* — действующая площадь $F_д$ при $\tau > t_в$.

тока, перпендикулярным горизонталям. Вследствие этого даже при постоянном значении расчетной скорости, что обеспечивает стационарность изохрон на бассейне, размещаются они не всегда просто — на русловой сети они образуют выпуклости, на частных водоразделах — вогнутости или разрывы.

8. Спланиметрировав участки бассейна, заключенные между смежными изохронами, получим частные площади или площади одновременного стекания f_1, f_2, f_3 и т. д. в $км^2$. По их значениям или отношениям $\frac{f_i}{F}$, где F — общая площадь данного бассейна, строятся графики распределения площадей одновременного стекания (рис. 7.7 *г*).

Обычно τ_0 принимается таким, чтобы отношение $\frac{\tau}{\tau_0} = n$ составляло 10—20, что в пределах малых и средних бассейнов достаточно хорошо отражает процесс стекания и позволяет получить плавные графики распределения площадей одновременного стекания.

Для удобства рассуждений и сокращения объема записей в нашем конкретном случае примем:

а) продолжительность водоотдачи $t_в = 5\tau_0$,

б) время добегания с бассейнов $\tau_1 = 5\tau_0$, $\tau_2 = 3\tau_0$ и $\tau_3 = 7\tau_0$, т. е. рассмотрим те три случая соотношения времени добегания τ и продолжительности водоотдачи $t_в$, которые обычно рассматриваются в общей теории формирования паводков и имеют место в природных условиях.

1-й случай $\tau_1 = t_в$ — время добегания τ_1 равно продолжительности водоотдачи $t_в$;

2-й случай $\tau_2 < t_в$ — время добегания τ_2 меньше продолжительности водоотдачи $t_в$ (малый бассейн);

3-й случай $\tau_3 > t_в$ — время добегания τ_3 больше продолжительности водоотдачи $t_в$ (большой бассейн).

Для каждого из этих случаев вычисляем текущие расходы и гидрографы паводков при принятых условиях.

1-й случай $\tau_1 = t_в = 5\tau_0$ — время добегания τ_1 равно продолжительности водоотдачи $t_в$. Первая порция дождя h_1 равномерно орошает весь бассейн, и к концу первого интервала времени τ_0 через замыкающий створ пройдет объем (расход) воды Q_1, сформировавшийся на первой площадке f_1. Он равен произведению слоя воды на площадь $Q_1 = h_1 f_1$. Объем воды от h_1 с других площадок за это время приблизится к створу на $l_0 = v\tau_0$.

В течение второго интервала времени на весь бассейн выпадает вторая порция осадков h_2, и к концу этого интервала через створ пройдет объем воды Q_2 от h_2 с f_1 и от h_1 с f_2, т. е. $Q_2 = h_2 f_1 + h_1 f_2$. Другие элементарные объемы от h_1 и h_2 приблизятся к створу на $2l_0$ и на l_0 относительно зон (элементарных площадок) своего формирования.

Таким образом, текущие расходы воды на конец каждого интервала времени в этом случае записываются равенствами (7.9):

$$Q_1 = h_1 f_1,$$
$$Q_2 = h_2 f_1 + h_1 f_2,$$
$$Q_3 = h_3 f_1 + h_2 f_2 + h_1 f_3,$$
$$Q_4 = h_4 f_1 + h_3 f_2 + h_2 f_3 + h_1 f_4,$$
$$Q_5 = h_5 f_1 + h_4 f_2 + h_3 f_3 + h_2 f_4 + h_1 f_5.$$

Окончился дождь и с первой площадки прошел сток от каждой его порции, но еще идет стекание с удаленных частей бассейна и

$$Q_6 = h_5 f_2 + h_4 f_3 + h_3 f_4 + h_2 f_5,$$
$$Q_7 = h_5 f_3 + h_4 f_4 + h_3 f_5,$$
$$Q_8 = h_5 f_4 + h_4 f_5,$$
$$Q_9 = h_5 f_5,$$
$$Q_{10} = 0. \qquad (7.9)$$

Если частные объемы (расходы) разделим на число секунд в расчетном интервале времени τ_0, то получим расходы воды в общепринятых единицах измерения (в *м³/сек.*). По вычисленным расходам воды строится гидрограф паводка (рис. 7.7 *д*).

Общая продолжительность такого паводка T складывается из общего времени добегания τ и продолжительности водоотдачи $t_в$. В нашем конкретном случае $T_1 = \tau_1 + t_в = 10\tau_0$.

Нередко в литературе можно встретить выражение $T = \tau + t_в - 1$ или $T = \tau + t_в - \tau_0$, что неверно по следующим соображениям. Чтобы приблизить наши рассуждения к природному процессу, τ_0 должно быть выбрано очень малым ($\tau_0 = \Delta\tau \to 0$). Кроме того, осадки, выпавшие в течение какого-то соизмеримого интервала времени τ_0, не могут стечь в это же время со всей площадки f_i; это может быть только при $\tau_0 \to 0$. В равенствах (7.9) следовало бы писать:

$$Q_1 = \frac{h_1}{2} f_1, \quad Q_2 = \frac{h_1 + h_2}{2} f_1 + \frac{h_1}{2} f_2, \quad \ldots, \quad Q_{10} = \frac{h_5}{2} f_5.$$

Максимальный расход воды, который нас особенно интересует, получается из генетической формулы как наибольшая величина из текущих расходов. В равенстве (7.9) наибольшее значение имеет Q_5, так как он представлен наибольшим числом слагаемых — пятью слагаемыми.

Таким образом, в первом случае, когда $\tau = t_в$, в формировании максимального расхода принимает участие вся водоотдача или весь дождь и весь бассейн.

2-й случай $\tau_2 < t_в$ — время добегания τ_2 меньше продолжительности водоотдачи $t_в$.

Тот же день продолжительностью $t_в = 5\tau_0$ орошает и малый бассейн с временем добегания $\tau_2 = 3\tau_0$.

Рассуждая, как и в первом случае, запишем равенства (7.10):

$$\begin{aligned} Q_1 &= h_1 f_1, \\ Q_2 &= h_2 f_1 + h_1 f_2, \\ Q_3 &= h_3 f_1 + h_2 f_2 + h_1 f_3. \end{aligned}$$

От h_1 прошел сток со всего бассейна — «кончился бассейн», но дождь и сток продолжаются:

$$\begin{aligned} Q_4 &= h_4 f_1 + h_3 f_2 + h_2 f_3, \\ Q_5 &= h_5 f_1 + h_4 f_2 + h_3 f_3. \end{aligned}$$

Окончился дождь, и сток поступает с удаленных частей бассейна:

$$\begin{aligned} Q_6 &= h_5 f_2 + h_4 f_3, \\ Q_7 &= h_5 f_3, \\ Q_8 &= 0. \end{aligned} \qquad (7.10)$$

Продолжительность паводка в этом случае $T_2 = \tau_2 + t_в = 8\tau_0$.

Наибольшее число слагаемых в равенствах системы (7.10) три (Q_3, Q_4, Q_5). В каждом из них принимают участие все три площадки f_1, f_2, f_3, т. е. весь бассейн, но разные порции дождя. Так, в Q_3 участвуют h_1, h_2 и h_3; в Q_4 — h_2, h_3 и h_4; в Q_5 — h_3, h_4 и h_5.

Очевидно, что максимальным из них будет тот, в формировании которого участвует наиболее интенсивная часть дождя, представленная тремя слоями в указанных последовательных сочетаниях. На рис. 7.7 *а* видно, что это h_2, h_3 и h_4 общей продолжительностью $3\tau_0$.

Таким образом, во втором случае, когда $\tau < t_в$, в формировании максимального расхода Q_{max} принимает участие весь бассейн и только часть водоотдачи с наибольшей интенсивностью за продолжительность, равную времени добегания τ_2, — действующая часть дождя.

Если время добегания τ очень мало по сравнению с продолжительностью водоотдачи $t_в$ ($\tau \ll t_в$) и может быть принято равным расчетному интервалу времени τ_0 ($\tau = \tau_0$), то формула (7.10) будет иметь вид:

$$\left.\begin{aligned} Q_1 &= h_1 F \\ Q_2 &= h_2 F \\ \cdots &\quad \cdots \\ Q_{t_в} &= h_{t_в} F \end{aligned}\right\} \qquad (7.10')$$

В формировании каждого текущего расхода в этом случае принимает участие весь бассейн F и текущая водоотдача h_1, h_2, h_3, ..., $h_{t_в}$. Формула (7.10′) отражает формирование сложных паводков, которые повторяют ход водоотдачи и наблюдаются на малых водотоках при снеготаянии и коротких ливнях и на больших бассейнах при вертикальной зональности снеготаяния и многосуточных дождях.

3-й случай $\tau_з > t_в$ — время добегания $\tau_з$ больше продолжительности водоотдачи $t_в$.

И в этом случае тот же дождь продолжительностью $t_в = 5\tau_0$ орошает уже большой бассейн с временем добегания, как принято в наших рассуждениях, $\tau_з = 7\tau_0$.

Аналогично (7.9) и (7.10) получим равенство (7.11):

$$Q_1 = h_1 f_1,$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$Q_5 = h_5 f_1 + h_4 f_2 + h_3 f_3 + h_2 f_4 + h_1 f_5.$$

Окончился дождь, но не «кончился» бассейн и

$$Q_6 = h_5 f_2 + h_4 f_3 + f_3 h_4 + h_2 f_5 + h_1 f_6,$$

$$Q_7 = h_5 f_3 + h_4 f_4 + h_3 f_5 + h_2 f_6 + h_1 f_7.$$

«Кончился» бассейн и

$$Q_8 = h_5 f_4 + h_4 f_5 + h_3 f_6 + h_2 f_7,$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$Q_{11} = h_5 f_7,$$

$$Q_{12} = 0. \qquad (7.11)$$

Вычисленный в этом случае паводок имеет продолжительность $T_з = \tau_з + t_в = 12\tau_0$.

Как и во втором случае, в системе (7.11) имеется несколько равенств с одинаковым количеством слагаемых (в данном примере их три — Q_5, Q_6 и Q_7). Содержат они по пяти слагаемых: В каждом из них участвуют все пять порций осадков, т. е. вся водоотдача, но разные площадки: f_1, ..., f_5; f_2, ..., f_6; f_3, ..., f_7, т. е. не весь бассейн, а только его часть, представленная пятью площадками. Наибольшим из этих трех расходов будет тот, в формировании которого принимает участие наибольшая действующая площадь, состоящая из пяти слагаемых. В нашем примере эта действующая часть бассейна представлена f_2, ..., f_6 (см. рис. 7.7 *в.3*).

Следовательно, в третьем случае, когда $\tau > t_в$, в формировании максимального расхода принимает участие вся водоотдача и часть бассейна — действующая часть $F_д$ — с наибольшей площадью при продолжительности добегания по ней, равной продолжительности водоотдачи $t_в$.

Длина этой действующей части бассейна

$$L_д = t_в v. \tag{7.12}$$

Размещается она в наиболее широкой зоне бассейна, и ее площадь может быть представлена равенством

$$F_д = L_д B_д = t_в v B_д, \tag{7.13}$$

где $B_д$ — ширина действующей части бассейна.

Если продолжительность водоотдачи $t_в$ в несколько (более пяти—десяти) раз меньше времени добегания τ и может быть принята равной расчетной единицей времени $\tau_0 (\tau \gg t_в = \tau_0)$, то каждый текущий расход паводка формируется от единственной порции водоотдачи h (единичных осадков) и каждой частной площади $f_1, f_2, \ldots, f_\tau$, а формулы (7.11) приобретают вид:

$$\begin{aligned} Q_1 &= hf_1, \\ Q_2 &= hf_2, \\ &\cdots\cdots \\ Q_\tau &= hf_\tau. \end{aligned} \tag{7.11'}$$

Уравнение (7.11′), отражающее процесс формирования паводка, происходящего от стекания единичных осадков с единичных площадей $f_1, f_2, \ldots, f_\tau$, является уравнением единичного гидрографа, или элементарного паводка.

Суммы объемов (расходов) систем (7.9)—(7.11) представляют общие объемы паводков

$$W = \sum_{i=1}^{i=\tau+t_в} Q_i = 1000xF \ м^3, \tag{7.14}$$

где x — общий слой водоотдачи, равный Σh_i; F — общая площадь водосбора; 1000 — переходный коэффициент при измерении W в $м^3$, x в $мм$ и F в $км^2$. Равенство (7.14) служит контролем вычислений.

В общем виде закон суммирования систем (7.9)—(7.11) можно записать так:

$$\begin{aligned} Q_i &= h_1 f_i + h_2 f_{i-1} + \ldots + h_i f_1 = \\ &= \sum_{k=1}^{k=i} h_k f_{i-k+1} = \sum_{k=1}^{k=i} h_{i-k+1} f_k. \end{aligned} \tag{7.15}$$

В интегральном виде зависимость между расходами и основными его факторами может быть представлена уравнением

$$Q_t = \int_0^t h_t \frac{df}{dt}\, dt, \tag{7.16}$$

где t — продолжительность добегания по русловой сети ко времени прохождения через створ расхода Q_t при средней скорости; h_t — водоотдача.

Уравнение, отражающее закономерность формирования паводка вследствие добегания и суммирования элементарных расходов, образующихся в разных частях бассейна, называется генетической формулой стока. Она позволяет по ходу водоотдачи и графику распределения площадей одновременного стекания вычислить гидрограф паводка. Примеры таких расчетов приводятся ниже.

Равенства (7.15) и (7.16) справедливы применительно к любому текущему расходу, в том числе и к максимальному, который наступает в какой-то момент времени t. Пределы суммирования зависят от соотношения $t_в$ и τ и положения Q_t.

Например, для первого случая, когда $\tau = t_в$,

$$Q_t = \sum_{k=1}^{k=\tau=t_в} h_k f_{t-k+1}, \tag{7.17}$$

Для второго случая, когда $\tau < t_в$,

$$Q_t = \sum_{k=1}^{k=\tau} h_{t-k+1} f_k, \tag{7.18}$$

Для третьего случая, когда $\tau > t_в$

$$Q_t = \sum_{k=1}^{k=t_в} h_k f_{t-k+1}. \tag{7.19}$$

В паводочном стоке наибольший практический интерес представляют максимальные расходы. Определение их по равенствам (7.9)—(7.11) или уравнениям (7.17)—(7.19) — сравнительно трудная задача, так как нужно знать ход расчетного дождя, построить для каждого бассейна карту изохрон и т. д. Поэтому для практических целей необходимы более простые формулы, что в свою очередь требует схематизации явления.

Известно, что Н. Е. Долгов и М. М. Протодьяконов, основоположники генетической формулы стока, принимали ход дождя постоянной интенсивности, а бассейн — в виде прямоугольника с логом посередине. При этом $h_1 = h_2 = \cdots = h_i = \overline{h}$ и $f_1 = f_2 = \cdots = f_i = \overline{f}$, что позволило в равенствах (7.9)—(7.11) выносить за скобки $\overline{h}$ или $\overline{f}$ и записывать текущие расходы как $Q_1 = \overline{h}\overline{f}$; $Q_i = 2\overline{h}\overline{f} = 2Q_1$ и т. д. Расчетные гидрографы при такой схематизации имеют вид треугольника или трапеции с установившейся

фазой максимального стока продолжительностью $t_в$—τ при $\tau < t_в$ и $\tau - t_в$ при $\tau > t_в$.

В последующем при построении расчетных формул схематизация формирования максимальных расходов несколько уменьшилась. Например, осредняется интенсивность дождя только в равенстве максимума за расчетную продолжительность, равную времени добегания, что имеет важное значение для малых бассейнов с $\tau < t_в$.

Такое допущение приводит к некоторому уменьшению расхода, так как средневзвешенные величины, стоящие в скобках, заменяются среднеарифметическими при $r_{f_0} h > 0$, поскольку графики f и h имеют идентичный ход.

Так, если осредним интенсивность водоотдачи, участвующей в формировании максимальных расходов, что позволяет вынести h_{τ_0} за скобки или знак суммирования, и просуммируем частные площади, оставшиеся в скобках, а затем значения максимальных расходов, записанные равенствами (7.9)—(7.11) или уравнениями (7.17)—(7.19), разделим на полные площади водосборов, то получим модули максимального стока для каждого случая в виде:

1-й случай

$\tau = t_в$

$$q_{max\,1} = \frac{Q_{max\,1}}{F_1} = \frac{k\bar{a}_{t_в} F_1}{F} = k\bar{a}_{t_в}\ м^3/сек \text{ с } 1\ км^2, \qquad (7.20)$$

2-й случай

$\tau < t_в$

$$q_{max\,2} = \frac{Q_{max\,2}}{F_2} = \frac{k\bar{a}_{\tau_2} F_2}{F_2} = k\bar{a}_{t_в}\lambda = q_{max\,1}\lambda\ м^3/сек \text{ с } 1\ км^2, \qquad (7.21)$$

3-й случай

$\tau > t_в$

$$q_{max\,3} = \frac{Q_{max\,3}}{F_3} = \frac{k\bar{a}_{t_в} F_д}{F_3} = k\bar{a}_{t_в}\varphi = q_{max\,1}\varphi\ м^3/сек\ 1\ км^2, \qquad (7.22)$$

где $q_{max\,1}$, $q_{max\,2}$ и $q_{max\,3}$ — модули максимальных расходов; $\bar{a}_{t_в}$ — средняя интенсивность водоотдачи за время ее продолжительности $t_в \left(\bar{a}_{t_в} = \frac{\bar{h}}{\tau_0} \right)$; $\bar{a}_{\tau_2}$ — средняя интенсивность водоотдачи за время добегания τ_2; λ — отношение $\frac{\bar{a}_{\tau_2}}{\bar{a}_{t_в}} > 1{,}0$, так как

$\bar{a}_{\tau_2} > \bar{a}_{t_в}$; $\varphi < 1{,}0$ — отношение действующей площади $F_д$ к общей площади водосбора F.

Из (7.21) видно, что $q_{max\,2} > q_{max\,1}$ и тем больше, чем больше λ или меньше τ_2 по сравнению с $t_в$. При $\tau_2 \to 0$, что имеет место при $F \to 0$, модуль максимального стока стремится к наибольшему своему значению, равному максимальной водоотдаче

$$q'_{max} = k a_{max\,в}. \tag{7.23}$$

Из (7.22) видно, что $q_{max\,3} < q_{max\,1}$ и тем меньше, чем $\varphi < 1{,}0$, т. е. чем больше общая площадь водосбора F_3 по сравнению с действующей его частью $F_д$.

Из равенств (7.20)—(7.23) видно, что

$$\left.\begin{array}{l} q'_{max} > q_{max\,2} > q_{max\,1} > q_{max\,3} \\ \text{так как} \quad F \to 0 < F_2 < F_1 < F_3 \end{array}\right\}, \tag{7.24}$$

т. е. модули максимального стока убывают с возрастанием площади водосбора.

По установленным модулям максимального стока и соответствующим им общим площадям водосборов построен график

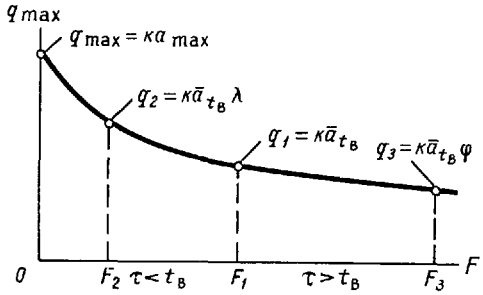


Рис. 7.8. Схема редукционной зависимости $q_{max} = f(F)$.

связи $q_{max} = f(F)$ (рис. 7.8), который, бесспорно, подтверждает вывод о редукции модулей с возрастанием площади водосборов.

Уравнения редукционной зависимости $q_{max} = f(F)$ имеют вид

$$q_{max} = \frac{A}{(F+C)^n} = \frac{k a_{max\,в}}{(F+C)^n} = k a_{max\,в} \varphi, \tag{7.25}$$

где A — элементарный модуль максимального стока в $м^3/сек$ с 1 $км^2$; $a_{max\,в}$ — максимальная интенсивность водоотдачи в *мм/мин* или *мм/час*; k — коэффициент перевода интенсивности водоотдачи в расход воды в $м^3/сек$ с 1 $км^2$ (при a_{max} в *мм/мин*

$k=16{,}67$; при a_{max} в *мм/час* $k=0{,}278$); φ — коэффициент редукции максимальной интенсивности стока, равный $\varphi=\frac{1}{(F+C)^n}$; n — показатель степени редукции максимального модуля стока по площади; C — параметр, учитывающий уменьшение степени редукции в зоне малых площадей.

Если пользоваться логарифмическим масштабом, то связь $\lg q_{max}=\psi(\lg F)$ принимает вид прямой, что облегчает определение численных значений параметров уравнения (7.25).

Заменяя максимальную интенсивность водоотдачи $a_{max\,в}$ через максимальную интенсивность дождя или снеготаяния a_{max} с учетом объемного коэффициента стока α, получим

$$q_{max}=\frac{ka_{max}\alpha}{(F+C)^n}=ka_{max}\alpha\varphi. \qquad (7.26)$$

Из генетической формулы также следует, что если вместо F пользоваться τ и $t_в$, приняв $F=B_{ср}L=B_{ср}v\tau$ или $F_д=B_д v t_в$, то можно получить зависимость $q_{max}=\psi(t_в\tau)$.

Наиболее просто такая зависимость может быть получена из анализа графиков хода водоотдачи и стока при схематизации их по треугольникам.

Пусть имеем ход водоотдачи и модулей стока с бассейна (рис. 7.9).

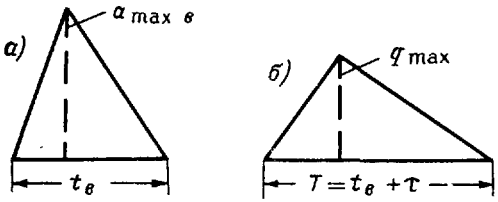


Рис. 7.9. Схема хода водоотдачи (*а*) и стока (*б*).

Имея в виду, что объем или общий слой водоотдачи равен слою или объему стока, можно записать

$$\frac{q_{max}(t_в+\tau)}{2}=\frac{ka_{max\,в}t_в}{2}$$

или

$$q_{max}=\frac{ka_{max\,в}t_в}{t_в+\tau}=\frac{ka_{max\,в}}{1+\frac{\tau}{t_в}}=ka_{max}\alpha\varphi, \qquad (7.27)$$

где k — коэффициент размерности; a_{max} — максимальная интенсивность дождя или снеготаяния; α — коэффициент стока.

Из формул (7.25)—(7.27)

$$\varphi = \frac{1}{(F+C)^n} = \frac{1}{1+\frac{\tau}{t_в}}. \qquad (7.28)$$

Из формулы (7.27) следует, что максимальный модуль стока всегда меньше максимальной интенсивности водоотдачи и тем меньше при данной $t_в$, чем больше время добегания τ или площадь водосбора, т. е. из формулы (7.27) следует уже известный закон редукции.

Формула вида (7.27) получена Д. Л. Соколовским при общей схематизации хода водоотдачи и стока и приравнивании коэффициентов их формы, которые при треугольной форме равны двум.

Г. А. Алексеев получил такую формулу из генетической формулы стока в результате некоторых упрощений ее и интерполяции при рассмотрении двух случаев: $\tau < t_в$ и $\tau > t_в$.

Формулы вида (7.25) и (7.26) применяются чаще, чем формулы вида (7.27), потому что значительно проще и легче определить площадь водосбора F, чем установить время добегания τ и продолжительность водоотдачи $t_в$, тем более при массовых расчетах.

Установив по одной из формул модуль максимального стока, максимальный расход можно вычислить по равенству $Q_{max} = q_{max}F$.

Формулы вида (7.25)—(7.27), аналитически выражающие редукцию модулей максимального стока с возрастанием водосборной площади или времени добегания, получили название *редукционных формул*. Они представляют самую большую группу расчетных формул максимальных расходов весеннего половодья и дождевых паводков. Внешне они выглядят иногда поразному, но различие в них, по существу, заключается в способах определения расчетных параметров и учета ими тех или иных факторов.

Например, в последнее время параметр A или a_{max} в редукционных формулах заменяется более устойчивым и надежнее определяемым слоем весеннего половодья.

Из рис. 7.8 и равенств для максимальных расходов или модулей, полученных из генетической формулы стока, видно, что при больших площадях водосборов с $\tau > t_в$ (3-й случай стока) имеет место редукция максимального модуля по площади бассейна, обусловленная убыванием $\frac{F_д}{F}$ или $\frac{t_в}{\tau}$ от $\varphi = 1{,}0$ до минимума по мере возрастания общей площади водосбора F или его длины L.

В зоне малых площадей со временем добегания $0<\tau<t_в$ (2-й случай стока) редукция модуля максимального стока обусловлена редукцией интенсивности водоотдачи $\bar{a}_{\tau\,в}$ по ее продолжительности. Здесь модули уменьшаются от $ka_{max\,в}$ до $k\bar{a}_{t\,в}$. Поскольку водоотдача имеет переменный ход от нуля до максимума и опять падает до нуля, то изменение модулей в этой зоне описывается кривой, близкой к гиперболе.

В зоне очень малых площадей — для ливневых паводков примерно до 5 *км*^{2} и для весеннего половодья до 10—15 *км*^{2} со временем склонового и руслового добегания до 2—5—7 часов — отмечается уменьшение редукции вплоть до полного ее отсутствия, и линия связи $\lg q_{max}=\psi(\lg F)$ здесь принимает горизонтальное положение. Учитывается это явление параметром C. Объясняется оно тем, что ядро ливней продолжительностью до 1—2 часов имеет устойчивую интенсивность, а резкое убывание ее обнаруживается по мере включения малоинтенсивных и продолжительных шлейфов. Что касается интенсивности снеготаяния, то она устойчива в течение пяти—семи дневных часов, а в ночные часы с пониженной температурой ее редукция усиливается.

На малых заболоченных и облесенных бассейнах, где стекание со склонов происходит не поверхностным, а внутрипочвенным или грунтовым путем, размер площади водосбора, начиная с которой наблюдается редукция модулей максимального стока, колеблется примерно от 10 *км*^{2} до нескольких сотен.

Выражение (7.21), характеризующее формирование максимального расхода при $\tau\leqslant t_в$, представляет собой формулу предельной интенсивности стока, которая основана на убывании максимальной интенсивности дождя с увеличением интервала осреднения

$$q_{max}=k\bar{a}_\tau\alpha, \tag{7.29}$$

где $\bar{a}_\tau$ — максимальная интенсивность дождя, средняя за время τ, в *мм/мин* или *мм/час*; τ — время осреднения, принимаемое равным времени добегания; α — коэффициент стока.

Из формул (7.21) и (7.29) видно, что для определения максимальных расходов с малых водосборов разного времени добегания $\tau\leqslant t_в$ необходимо иметь наибольшее значение интенсивности дождя или водоотдачи, среднее за любой интервал времени, равный времени добегания. Этим самым сформулирован практически важный принцип, положенный в основу метода исследования и расчета дождей.

Определяются параметры $\bar{a}_\tau=f(\tau)=\dfrac{H_\tau}{\tau}$ по данным наблюдений над осадками по самописцам путем графических построений этой связи или аналитических решений (см. § 2.3).

Здесь же еще раз обратим внимание на то, что из генетической формулы вытекают взаимозаменяемые формулы максимальных расходов двух разных групп.

Выше рассмотрены основные закономерности редукции модуля максимального стока с возрастанием площади водосбора или времени добегания, получаемые из генетической формулы по схеме изохрон. При этом были приняты одинаковыми для трех бассейнов водоотдача и скорости стекания. Это позволило установить границы между зоной редукции модуля по площади и редукцией, обусловленной редукцией водоотдачи по ее продолжительности (точка $q_{\max 1}$ на рис. 7.8).

Обычно же основные параметры редукционных формул весеннего половодья или дождевых паводков устанавливаются по графическим связям равнообеспеченных модулей. Для этого используются материалы сетевых наблюдений или специальных полевых обследований по рекам сравнительно больших районов, в пределах которых мало меняются метеорологические факторы стока. На таких графиках, построенных в логарифмическом масштабе $\lg q_{\max}=\psi(\lg F)$, точки располагаются не линейно, а относительно широкой полосой, но с явно выраженным наклоном, отражающим общий закон редукции. Разброс точек объясняется прежде всего различием факторов подстилающей поверхности бассейнов: залесенностью, заболоченностью, озерностью, рельефом, конфигурацией и др., которые влияют на формирование максимальных расходов. Например, разные модули максимального стока имеют бассейны одинаковых размеров, но с разной озерностью и заболоченностью. Поэтому, кроме основных параметров (A, $a_{\max}$, n, C), расчетные формулы должны содержать и другие параметры или поправочные коэффициенты, учитывающие влияние факторов подстилающей поверхности на максимальный сток.

Построение редукционной зависимости модулей максимального стока от площади водосбора и определение ее параметров приводится в примере 7.4.

Пример 7.4. Установить зависимость модулей максимального стока весеннего половодья от площади водосборов для зоны засушливых степей и полупустынь бассейна р. Урала и найти параметры ее уравнения.

Исходными данными для решения поставленной задачи являются максимальные расходы и их модули 1%-ной обеспеченности рек рассматриваемого района с различными размерами площадей водосборов (табл. 7.5). Максимальные расходы 1%-ной обеспеченности получены по кривым обеспеченности, параметры которых вычислены по данным наблюдений. Заметим, что для построения подобных зависимостей необходимо иметь равнообеспеченные или достаточно близкие к ним характеристики.

На рис. 7.10 видим хорошо выраженную линейную закономерность уменьшения модулей максимального стока с возрастанием площадей водосбора. По центрам тяжести проводится линия, которая определяет общее направление или наклон прямой связи.

Таблица 7.5

Максимальные расходы и модули стока 1%-ной обеспеченности бассейна Урала

Река — пункт	F км²	$Q_{max\ 1\%}$ м³/сек	$q_{max\ 1\%}$ л/сек с 1 км²	lg q	lg F
Урал — с. Кушум	190 000	16 600	87,5	1,942	5,279
Жарлы — с. Адамовка	2 490	1 070	430	2,633	3,396
Камсак — аул Азнабай . . .	3 140	1 450	465	2,668	3,498
Бердянка — с. Красноярка . .	445	410	920	2,964	2,648
Черная — с. Красный холм . .	943	453	480	2,682	2,974
Илек — г. Актюбинск	11 000	3 100	282	2,450	4,042
Илек — пос. Веселый № 1 . .	17 200	4 120	239	2,279	4,235
Илек — пос. Чилик	37 300	6 200	166	2,220	4,572
Актасты — пос. Белогорский .	45	52,0	1150	3,060	1,654
Кинделя — з/свх Магнитострой	1 570	785	500	2,700	3,196
Утва — с. Григорьевка	4 660	1 415	304	2,483	3,669
Рубежка — с. Рубежка . . .	720	746	1040	3,018	2,858
Чаган — пос. Каменный . . .	4 000	1 590	398	2,600	3,602
Чаган — пос. Новенький . . .	4 970	1 310	264	2,422	3,696
Деркул — пос. Плашкино . .	1 160	768	662	2,821	3,065
Барбастау — с. Барбастау . .	1 260	948	752	2,876	3,100

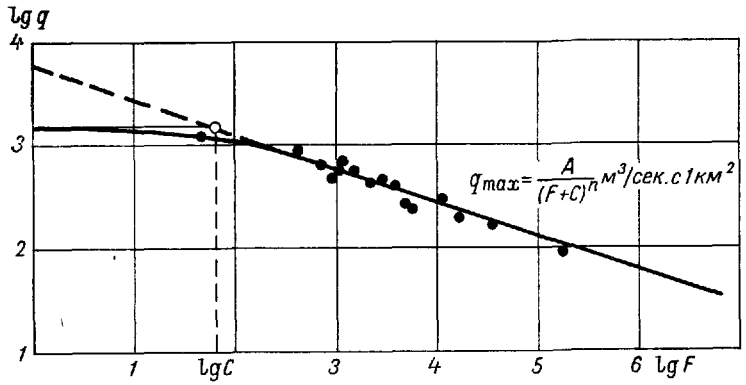


Рис. 7.10. Зависимость модулей максимального стока 1%-ной обеспеченности от площади водосбора рек бассейна р. Урала (зона засушливых степей и полупустынь).

Аналитическое выражение связи $\lg q_{max}=\psi(\lg F)$ устанавливается как уравнение прямой, решив которое, получим $y=-0{,}33x+3.8$. Подставляем вместо x и y их значения, получим

$$\lg q_{max\ 1\%} = -0{,}33 \lg F + 3{,}8 = \lg 10^{3{,}8} - \lg F^{0.33} = \lg \frac{10^{3{,}8}}{F^{0{,}33}}.$$

В последнем равенстве можно опустить lg и переписать его в виде

$$q_{max\ 1\%} = \frac{6{,}3}{F^{0{,}33}}\ м^3/сек\ с\ 1\ км^2.$$

Связь $q_{max}=f(F)$ в общем виде записывается уравнением (7.25)

Значения параметра C подбираются по кривым в зоне малых площадей, освещенных данными наблюдений. Для сохранения и анализа равенства во всем диапазоне F параметр C не должен быть меньше единицы. Так при $C=1.0$ имеем $q_{max}=\frac{A}{(F+1)^n}$. Тогда при $F\to 0$ $q_{max}\to A$ и A приобретает физический смысл и размерность q_{max}, т. е. $м^3/сек$ с $1\ км^2$.

В нашем примере ограниченное число точек с малыми площадями водосборов и линия уменьшения степени редукции в зоне малых площадей отклоняющаяся от прямой, проведена ориентировочно. Определяется C графически как отрезок прямой проведенной параллельно оси абсцисс из точки пересечения кривой с осью ординат до пересечения ее с продолжением прямой $\lg q=\psi(\lg F)$. Параметр C равен такой величине на которую нужно сместить все ординаты кривой вправо (в зоне малых площадей) чтобы кривая трансформировалась в прямую. Согласно рис. 7.10 $C=60$ и уравнение связи запишется так

$$q_{max\ 1\%}=\frac{6.3}{(F+60)^{0.33}}\ м^3\ сек\ с\ 1\ км^2$$

или

$$Q_{max\ 1\%}=q_{max\ 1\%}F=\frac{6{,}3F}{(F+60)^{0.33}}\ м^3/сек$$

С учетом значения $C=60$ модуль максимального стока при $F\to 0$ или параметр $A_{1\%}$, в данном примере равен 1,6 $м^3/сек$ с $1\ км^2$.

Последние равенства могут быть использованы как локальная редукционная формула для определения максимальных расходов талых вод 1% ной обеспеченности неизученных рек данного района. Значения параметра $A_{1\%}$ устанавливают по рекам аналогам пользуясь зависимостью

$$A_{1\%\ a}=\frac{Q_{max\ 1\%\ a}}{(F_a+60)^{0.67}}$$

Например для р. Чагач у пос. Каменного

$$A_{1\%}=\frac{1590}{(4000+60)^{0.67}}=6{,}2\ м^3/сек\ с\ 1\ км^2$$

Тогда максимальный расход расчетной реки для которой р. Чагач у пос. Каменного является аналогом,

$$Q_{max\ 1\%}=\frac{6{,}2F}{(F+60)^{0.33}}\ м^3\ сек$$

§ 7.4. РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ПРИ ОТСУТСТВИИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Применение метода аналогии

При расчетах максимальных расходов талых и дождевых вод, как и при расчетах других характеристик стока, широко используется метод гидрологической аналогии. Возможности этого ме

тода достаточно многообразны, а практические способы применения определяются конкретными условиями.

Как отмечалось выше, при разнице площадей водосборов в створах сооружения и наблюдений на той же реке не более 10% и близких условиях формирования максимального стока на промежуточной площади значения модулей максимального стока и слоя стока переносятся в расчетный створ без введения поправок на разницу площадей водосборов.

Если ряд наблюдений в расчетном створе короткий и недостаточен для непосредственных расчетов максимального стока, то параметры такого ряда приводятся к многолетним их значениям методом аналогии.

Более часто метод аналогии применяется при расчетах максимального стока по формулам, когда уточняются или определяются по данным наблюдений на реке-аналоге основные параметры расчетных формул.

Например, в редукционных формулах вида (7.25) основной параметр A — элементарный модуль максимального стока, который часто представляют в виде схематической карты изолиний, рекомендуется определять методом аналогии. С этой целью для реки-аналога сначала устанавливается максимальный расход воды или его модуль заданной обеспеченности $Q_{\max p}$ или q_p, а затем по найденным величинам путем обратных вычислений определяется параметр $A_{p\,\text{а}}$, который имеет ту же обеспеченность p %.

$$A_{p\,\text{а}} = \frac{Q_{\max p\,\text{а}}}{F_{\text{а}}}(F_{\text{а}} + C)^n.$$

Значение $A_{p\,\text{а}}$ реки-аналога переносится на расчетный створ, для которого вычисляется максимальный расход обеспеченностью p %

$$Q_{\max p} = \frac{A_{p\,\text{а}} F}{(F + C)^n},$$

где F — площадь водосбора в расчетном створе.

В формуле максимального стока талых вод, принятой в СН 356-66, рекомендуется определять по бассейну-аналогу коэффициент дружности и слой стока весеннего половодья $k_{0\,\text{а}}$ и $h_{p\,\text{а}}$, а затем переносить их значения в расчетный створ.

Непосредственное применение метода аналогии для определения расчетных параметров будет показано при рассмотрении самих формул. Здесь же познакомимся лишь с требованиями, которые нужно соблюдать при выборе реки-аналога для расчетов максимальных расходов талых и дождевых вод.

В качестве аналогов используются реки или створы, по которым имеются надежные значения максимальных расходов

и продолжительность наблюдений не менее 15—20 лет, включая максимумы редкой повторяемости. Продолжительные наблюдения позволяют надежно установить величины статистических параметров и обеспеченных расходов.

Условия формирования весеннего половодья или дождевых паводков и их максимальных расходов должны быть одинаковыми или достаточно близкими как на расчетном бассейне, так и на аналоге. Об этом можно судить по сходности (близости) факторов, определяющих формирование максимального стока, так как непосредственных наблюдений, по которым можно сделать сопоставление, в расчетном створе нет. К таким факторам относятся метеорологические факторы и факторы подстилающей поверхности.

Метеорологические факторы включают близкие значения снегозапасов, условия снеготаяния, формирование ливней и дождей, близкие значения интенсивности дождей, суточных максимумов осадков, предшествующее увлажнение бассейнов. Эти требования легко выполняются, если расчетный бассейн и аналог находятся в непосредственной близости друг к другу, имеют одинаковое высотное положение и ориентацию склонов.

К факторам подстилающей поверхности, которые должны быть близкими в обоих бассейнах, относятся прежде всего общие черты рельефа, характер почво-грунтов, залесенность, заболоченность, озерность и др. Желательно иметь возможно близкие русловые характеристики и формы бассейнов.

Оба бассейна должны относиться к одной и той же природной зоне, в пределах которой показатель степени редукции n одинаков.

Площадь водосбора реки-аналога не должна превышать площадь водосбора расчетной реки более чем в 5 раз при $F \geqslant \geqslant 1000$ *км*^{2} и в 10 раз при $F < 1000$ *км*^{2}.

Подобрать аналог с достаточно близкими значениями всех факторов и характеристик с соответствующими величинами в расчетном створе практически очень трудно, а иногда и невозможно. В таких случаях различие отдельных факторов учитывается поправочными коэффициентами. Например, если имеется существенная разница в озерности двух бассейнов, то сначала исключается влияние озер на максимальный расход реки-аналога, а затем вводится соответствующий коэффициент, снижающий максимум расчетного бассейна за счет его озерности.

Для выбора аналога используются материалы по максимальному стоку талых и дождевых вод и гидрографические характеристики изученных речных бассейнов, публикуемые Гидрометслужбой в справочниках «Ресурсы поверхностных вод СССР» и других изданиях.

Применение метода аналогии рассматривается на ряде примеров.

Расчет по формулам максимальных расходов талых вод

Ниже помещены только наиболее распространенные в настоящее время формулы, в том числе и технические указания по определению максимальных расходов талых вод (СН 356-66). Последние излагаются с возможной полнотой потому, что учащиеся, тем более студенты-заочники, не всегда имеют возможность знакомиться с подлинниками. Многие другие формулы, не помещенные здесь, рассматриваются в учебнике Д. Л. Соколовского «Речной сток», с которым читатели обязательно знакомятся при прохождении данного курса.

Формула Д. Л. Соколовского. Формула, разработанная Д. Л. Соколовским в 1937 г., является дальнейшим развитием и уточнением формулы Д. И. Кочерина. Обоснована она материалами наблюдений по максимальному стоку весеннего половодья рек СССР и выражает редукцию модуля максимального стока с возрастанием водосборной площади

$$q_{\max p} = \frac{kA_p}{(F+1)^n}\delta = \frac{kA_p}{(F+1)^{0,25}}\delta \qquad (7.30)$$

или

$$Q_{\max p} = q_{\max p}F = \frac{kA_pF}{(F+1)^{0,25}}\delta = kA_pF^{0,75}\delta, \qquad (7.30')$$

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 $p\%$; F — площадь водосбора в расчетном створе в $км^2$; k — коэффициент размерности, равный единице при выражении A_p в $м^3/сек$ с 1 $км^2$ и 0,278 при выражении A_p в $мм/час$; δ — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода за счет влияния озер, болот и леса; n — показатель степени редукции, колеблющийся в зависимости от географической зоны и обеспеченности в пределах 0,2—0,3; принят равным 0,25.

Параметр A_p определяется приближенно по картам изолиний (рис. 7.11 и 7.12), которые построены по A_p, вычисленным обратным путем по $Q_{\max p}$ в створах наблюдений без исключения влияния озерности, заболоченности и лесистости водосборов $A_p = \frac{Q_{\max p}}{kF^{0,75}}$ и отражают осредненное влияние этих характеристик на $Q_{\max}$. Поэтому при установлении A_p по картам изолиний в формуле (7.30) учитывается отношение коэффициента δ расчетного водосбора и среднего районного значения $\delta_{ср}$. Тогда формула (7.30) приобретает вид

$$Q_{\max p} = kA_pF^{0,75}\frac{\delta}{\delta_{ср}}. \qquad (7.30'')$$

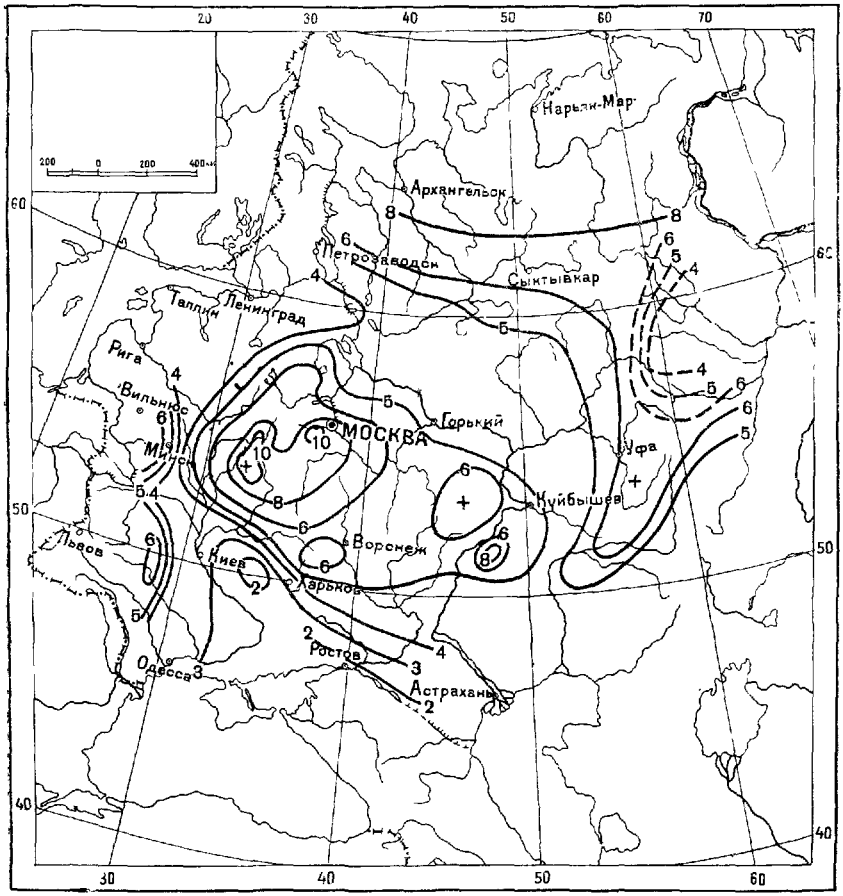


Рис. 7.11. Карта изолиний максимального модуля элементарного стока талых вод A *мм/час* 5%-ной обеспеченности.

Более точное значение параметра A_p для неизученных рек устанавливается методом гидрологической аналогии по данным наблюдений над максимальными расходами на реках-аналогах по формуле

$$A_p = \frac{Q_{\max p\,a}}{kF_a^{0,75}\delta_a}, \qquad (7.31)$$

где все параметры имеют те же значения, что и в формуле (7.30′), а индекс «а» означает, что данная характеристика относится к реке-аналогу.

Максимальный расход бассейна аналога $Q_{\max p\,a}$ вычисляется по данным наблюдений с построением кривых обеспеченности.

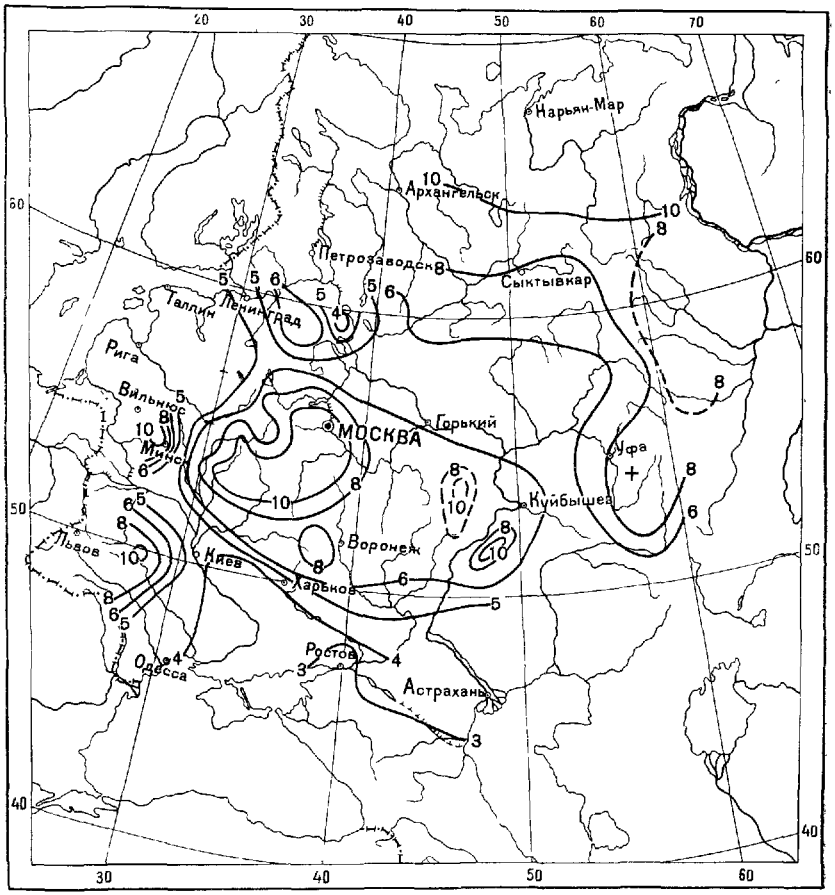


Рис. 7.12. Карта изолиний максимального модуля элементарного стока талых вод A *мм/час* 1%-ной обеспеченности.

Установленное по реке-аналогу значение A_p переносится в расчетный створ, максимальный расход в котором вычисляется по формуле (7.30′).

Подставляя A_p из (7.31) в (7.30), получим формулу для определения максимальных расходов неизученных рек методом гидрологической аналогии в виде

$$Q_{\max p} = Q_{\max p\,a}\left(\frac{F}{F_a}\right)^{0,75}\frac{\delta}{\delta_a}. \qquad (7.32)$$

Коэффициент δ определяется по формуле

$$\delta = 1{,}0 - 0{,}6\lg(1 + f_{оз} + 0{,}2f_б + 0{,}05f_л), \qquad (7.33)$$

где $f_{оз}$, $f_б$ и $f_л$ — площади озер, болот и леса в % от общей площади водосбора.

Влияние озер, болот или лесов на максимальный расход учитывается формулой (7.33) при $f_{оз}>1\%$, $f_б>10\%$, $f_л>20\%$. При $f_{оз}>15\%$ озерная аккумуляция перекрывает влияние болот и лесов, при этом значения $f_б$ и $f_л$ принимаются равными нулю.

Аккумулирующее влияние озер, болот и лесов на максимальный расход в формуле Соколовского можно учитывать и по формулам (7.53) и (7.55). Максимальные расходы малых водотоков с внутрисуточным ходом стока весеннего половодья Соколовский рекомендует определять по объемной формуле вида

$$Q_{\max p}=\frac{0{,}28h_p k_м F f}{t_п}=\frac{0{,}28h_p k_м F f}{t_0+\tau_р+\tau_{ск}}, \qquad (7.34)$$

где h_p — слой весеннего половодья обеспеченностью $p\%$, определяется с помощью карт (приложения XXXI и XXXII); $k_м=\frac{h_{\max}}{h}$ — отношение максимального суточного слоя ко всему слою половодья, характеризует дружность половодья (равен для дружных весен 0,2 в лесной зоне, 0,3—0,5 в лесостепной и 0,5 и выше в степной зонах); f — коэффициент, зависящий от показателей степени кривых подъема и спада и отношения продолжительности подъема и спада половодья, равный 0,80—1,00; $t_п$ — продолжительность подъема суточной волны половодья в часах; t_0 — продолжительность подъема суточной температуры воздуха, равная в среднем 3 часам; $\tau_р$ — время добегания по руслу, равное $\frac{L_р}{3{,}6v_р}$; $\tau_{ск}$ — время добегания по склонам, равное $\frac{L_{ск}}{3{,}6v_{ск}}$, где $L_р$ и $L_{ск}$ — длины русла и склона в *км*, $v_р$ и $v_{ск}$ — скорость стекания по руслу и склонам, которые могут быть приняты равными соответственно 0,8—1,0 и 0,05—0,07 *м/сек*.

Максимальная площадь бассейнов с внутрисуточным ходом стока весеннего половодья не превышает 50—100 *км*^{2} в лесной зоне и 500 *км*^{2} в лесостепной и степной зонах.

Пример 7.5. Определить максимальные расходы воды весеннего половодья р. Цны у с. Дятловичи (бассейн р. Днепра) 1 и 5%-ной обеспеченности по формуле Соколовского.

Исходные данные выписываем из справочника «Ресурсы поверхностных вод СССР» Водосборная площадь р. Цны у с. Дятловичи $F=969$ *км*^{2}, заболоченность бассейна $f_б=11\%$, залесенность $f_т=47\%$, озерность $f_{оз}<1\%$.

Расходы вычислим методом гидрологической аналогии по формуле (7.32).

В качестве аналога примем р. Бобрик у ст. Парохонской, где имеется 27-летний ряд наблюдений. Максимальные расходы воды весеннего половодья, установленные с помощью статистических параметров по кривой обеспеченности, равны $Q_{1\%}=107$ *м*^{3}*/сек* и $Q_{5\%}=81{,}0$ *м*^{3}*/сек*.

Реки Бобрик и Цна являются левобережными притоками р. Припяти, и их бассейны граничат друг с другом. Площадь водосбора р. Бобрик у ст. Па-

рохонской $F=1450$ км², заболоченность бассейна $f_б=23\%$, залесенность $f_л=55\%$, озерность $f_оз<1\%$.

Сначала по формуле (7.33) вычислим коэффициент δ, определяющий влияние озер, болот и леса на максимальные расходы,

для р. Бобрик

$$\delta_а=1{,}0-0{,}6\lg(1+0{,}2\cdot 23+0{,}05\cdot 55)=0{,}45,$$

для р. Цны

$$\delta=1{,}0-0{,}6\lg(1+0{,}2\cdot 11+0{,}05\cdot 47)=0{,}56.$$

Подставляя известные величины в (7.32), получим для р. Цны у ст. Парохонской

$$Q_{1\%}=107\left(\frac{969}{1450}\right)^{0{,}75}\cdot\frac{0{,}56}{0{,}45}=107\cdot 0{,}741\cdot 1{,}245=97{,}8\ м^3/сек,$$

$$Q_{5\%}=81{,}0\cdot 0{,}741\cdot 1{,}245=74{,}7\ м^3/сек.$$

Формула Г. А. Алексеева. Формула Алексеева отражает редукцию модулей максимального стока талых вод не по площади, а через время добегания, что позволяет учитывать длину и уклон реки, но несколько усложняет расчет. Она может быть представлена в виде

$$Q_{\max p}=\frac{\gamma h_p r}{\delta+86{,}4\gamma\tau}Fk_\tau, \qquad (7.35)$$

где $Q_{\max p}$ — максимальный (срочный) расход в $м^3/сек$ обеспеченностью $p\%$; h_p — слой весеннего стока в *мм* той же обеспеченности $p\%$; F — площадь водосбора в $км^2$; γ — коэффициент дружности половодья; r — коэффициент, учитывающий снижение максимального стока за счет озерного регулирования; τ — время добегания $\frac{L}{v}$ в сутках, где L — длина главного водотока в *км*, v — скорость добегания в *км/сутки*; δ — коэффициент, учитывающий влияние залесенности и заболоченности бассейна; k_τ — коэффициент, выражающий соотношение между срочным и средним суточным максимальными расходами; 86,4 — переводный множитель.

Расчетные параметры находим следующим образом:

1. Слой весеннего половодья заданной обеспеченности h_p определяется по трем параметрам $\overline{h}$, $C_{v\,h}$ и $C_{s\,h}$, значения среднего слоя $\overline{h}$ и коэффициента вариации $C_{v\,h}$ — по картам (приложение XXXI и XXXII) или по бассейну-аналогу. $C_{s\,h}$ принимается равным $2C_{v\,h}$.

Коэффициент дружности γ принимается равным 0,003 для всей территории СССР, кроме Северного Казахстана, где $\gamma=0{,}0035$, и может быть установлен методом аналогии.

3. Коэффициент δ вычисляется по формуле

$$\delta=1+\alpha(f_л+f_б), \qquad (7.36)$$

где $f_л$ и $f_б$ — относительная залесенность и заболоченность; α — параметр, характеризующий влияние состава леса и вида болот в различных географических зонах: $\alpha=2{,}0$ для лесной зоны, $\alpha=1{,}5$ для лесостепной, $\alpha=1{,}0$ для степной зоны.

4. Скорость v вычисляется по формулам

$$v = aI^{1/3}\widetilde{Q}_{max}^{1/4} \quad м/сек \tag{7.37}$$

или

$$v = a' I^{1/3}\widetilde{Q}_{max}^{1/4} \quad км/сутки, \tag{7.37'}$$

где I — средний уклон выравненного профиля в ‰; $\widetilde{Q}_{max}$ — максимальный средний суточный расход; a и a' зависят от средней шероховатости русла и поймы (по всей длине реки) и устанавливаются по таблицам (приложение 10).

5. Величина r вычисляется по формуле

$$r = \frac{1 - f_{оз}}{1 + 25 f_{оз}}, \tag{7.38}$$

где $f_{оз}$ — площадь озер и прудов в долях от общей площади водосбора.

Значения r могут быть вычислены также по формуле (7.53).

6. Коэффициент k_τ вычисляется по формуле

$$k_\tau = \frac{k_0}{1 + (k_0 - 1)\tau}, \tag{7.39}$$

где τ — время добегания, равное $\frac{L}{v}$ сутки, вычисленное с учетом срочного максимального расхода.

Параметр k_0 принимается равным 4—5 для степной зоны, 3—4 для лесостепной, 2—3 для лесной зоны.

Значение k_τ можно установить и по табл. 8.3. Величина k_τ вводится для малых водотоков, у которых время добегания меньше суток.

Вычисление максимального расхода по формуле (7.35) производится путем последовательного приближения, принимая в первом приближении максимальную среднюю скорость $v=v'$ произвольно в пределах от 30 до 80 *км/сутки*. По вычисленной первой приближенной величине максимального расхода $Q'_{max\,p}$ определяется соответствующее время добегания τ' и затем по формуле (7.35) вычисляется второе значение расхода $Q''_{max\,p}$. При разнице между $Q''_{max\,p}$ и $Q'_{max\,p}$ не более $\pm 5\%$ $Q''_{max\,p}$ принимается в качестве расчетной величины.

Пример 7.6. Определить максимальный расход 1%-ной обеспеченности для р. Лонницы у с. Мосолино (бассейн Балтийского моря). Площадь водосбора $F=50$ *км*^{2}, длина реки $L=16{,}5$ *км*, уклон $I=3{,}2‰$, залесенность $f_л=0{,}80$.

Порядок расчета:

1. Принимая величину $\alpha=2$, вычисляем параметр залесенности и заболоченности

$$\gamma = 1 + \alpha\,(f_л + f_б) = 1 + 2 \cdot 0{,}8 = 2{,}6.$$

2. По данным изученных рек принимаем $\gamma=0{,}003$.

3. Слой стока 1%-ной обеспеченности $h_{1\%}$ вычисляем следующим путем:

а) с карты изолиний слоя весеннего половодья (приложение XXXI) снимаем среднюю величину слоя $\overline{h}=120$ *мм*;

б) с карты изолиний коэффициента вариации слоя весеннего половодья (приложение XXXII) снимаем $C_{v\,h}=0{,}40$;

в) принимаем $C_{s\,h}=2C_{v\,h}$;

г) по приложению 7 определяем $k_{1\%}=2{,}156$;

д) слой весеннего половодья 1%-ной обеспеченности

$$h_{1\%} = 2{,}156 \cdot 120 = 258 \text{ мм}.$$

4. Для определения максимального среднего суточного расхода, соответствующего данному слою стока, строим график связи $\widetilde{q}_{max}$ (рис. 7.13) по уравнению (7.35), задаваясь различными модулями стока $\widetilde{q}_{max}$, которым соответствуют различные слои, вычисленные по этому уравнению. Расчет представлен в табл. 7.6.

На графике слою стока $h_{1\%}=258$ *мм* соответствует расход $Q_{max\,1\%}=14{,}1$ *м*^{3}/*сек*. По этому графику могут быть вычислены максимальные расходы и других обеспеченностей.

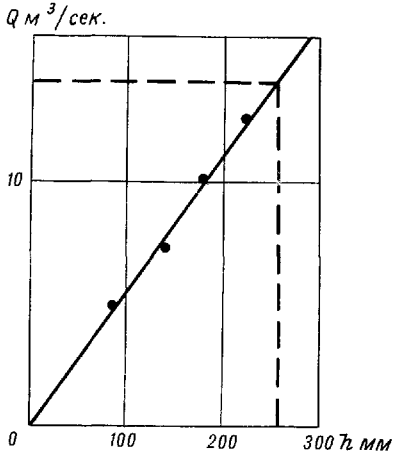


Рис. 7.13. Зависимость максимального среднесуточного расхода от слоя стока р. Лонница у д. Мосолино.

Таблица 7.6

$\widetilde{q}_{max}$	$\widetilde{Q}_{max}=\widetilde{q}_{max}F$	$\frac{\widetilde{q}_{max}}{f}$	$\widetilde{Q}^{1/3}_{max}$	$I^{1/3}$	v	$f\frac{h}{v}$	$\delta+\gamma\frac{h}{v}$	$h=\frac{q_{max}}{\gamma}\left(\delta+\gamma\frac{h}{v}\right)$
0,25	12,5	83,3	1,88	1,47	0,42	0,12	2,72	226
0,20	10,0	66,6	1,78	1,47	0,39	0,13	0,73	181
0,15	7,5	50,0	1,65	1,47	0,36	0,14	2,74	137
0,10	5,0	33,3	1,50	1,47	0,33	0,15	2,75	91

Для перехода от среднего суточного расхода к срочному по табл. 8.3 определяем $k_τ=1{,}3$. Тогда срочный расход

$$Q_{max\,1\%} = 14{,}1 \cdot 1{,}3 = 18{,}3 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Формула А. В. Огиевского и В. И. Мокляка. Формула предложена Огиевским в 1945 г. в результате анализа процесса

формирования весеннего половодья и генетической формулы на основании теории изохрон. Параметры этой формулы разработаны для Европейской части СССР Мокляком.

При построении формулы Огиевский рассматривал три случая стока в зависимости от соотношения между продолжительностью водоотдачи $t_в$ и временем добегания τ: 1) большие водосборы с $\tau > t_в$, 2) средние водосборы с $\tau < t_в$, но $> 1{,}0$ (в сутках), 3) малые водосборы с $\tau < 1{,}0$ (суток).

Общая формула имеет вид

$$Q_{max} = 0{,}0116 \frac{h}{t_в} F_д K_2 K_3 \beta \varphi \delta \lambda, \qquad (7.40)$$

где Q_{max} — максимальный расход в $м^3/сек$; h — суммарный слой весеннего стока в $мм$; $t_в$ — продолжительность водоотдачи от снеготаяния в сутках; $F_д$ — действующая площадь бассейна, с которой формируется максимальный расход, в $км^2$; K_2 — коэффициент, учитывающий неравномерность суточных величин водоотдачи за период стекания; K_3 — коэффициент, учитывающий неравномерность внутрисуточной водоотдачи; β — коэффициент, учитывающий залесенность бассейна; φ — коэффициент, учитывающий заболоченность бассейна; δ — коэффициент, учитывающий влияние зарегулирования максимума прудами и озерами; λ — коэффициент повторяемости; 0,0116 — коэффициент размерности.

Время добегания вычисляется по формуле

$$\tau = \frac{L}{v}, \qquad (7.41)$$

где L — длина реки от наиболее удаленной части бассейна до рассматриваемого створа в $км$; v — скорость добегания в $км/сутки$.

Действующая площадь бассейна $F_д$ определяется по формуле

$$F_д = L_д B_д, \qquad (7.42)$$

где $L_д$ — действующая длина; $B_д$ — действующая ширина бассейна.

Имея в виду, что $L_д = v t_в$, получаем

$$F_д = v t_в B_д. \qquad (7.42')$$

Для каждого из трех случаев Огиевским получены различные расчетные формулы.

Если $\tau > t_в$, то неравномерность суточных величин водоотдачи за время $t_в$, а также и внутрисуточной водоотдачи практически не влияет на величину максимального расхода, поэтому коэффициенты K_3 и K_2 принимаются равными единице. Следовательно, с учетом значения $F_д$ общая формула (7.40) имеет вид

$$Q_{max} = 0{,}0116 h v B_д \beta \varphi \delta \lambda. \qquad (7.43)$$

Когда $1<\tau<t_в$, в формировании максимального расхода участвует весь бассейн и часть водоотдачи, следовательно, $F_д = F$ и $K_з = 1$; расчетная формула имеет вид

$$Q_{max} = 0{,}0116 \frac{h}{t_в} FK_2 \beta\varphi\delta\lambda. \qquad (7.44)$$

Когда $\tau <$ суток, то в этом случае, как и в предыдущем, максимальный расход формируется со всей площади водосбора, т. е. $F_д = F$, и за счет наиболее интенсивной водоотдачи продолжительностью менее одних суток. Расчетная формула приобретает вид

$$Q_{max} = 0{,}0116 \frac{h}{t_в} FK_2K_3\beta\varphi\delta\lambda. \qquad (7.45)$$

В каждом конкретном случае расчетная формула для определения Q_{max} принимается в зависимости от соотношения τ и $t_в$.

Определение параметров:

1. Суммарный слой весеннего стока h определяется по карте изолиний (рис. 7.14). Обеспеченность слоя весеннего половодья, снятого с этой карты, принимается равной 1,0%.

Максимальный расход, соответствующий этому слою, также имеет 1,0%-ную обеспеченность. Порядок определения h такой же, как и нормы стока по карте изолиний.

2. Продолжительность водоотдачи $t_в$ (в сутках) определяется по карте (рис. 7.15). Для рек Днестра, Прута и Сана, берущих начало с Карпатских гор, с вертикальной зональностью снеготаяния вводится поправочный коэффициент n, равный единице при $F<1000$ *км*^{2}, двум — при $F>4300$ *км*^{2} и определяемый по формуле $n = 0{,}7 - 0{,}0003F$ при промежуточных значениях площади, т. е. $1000<F<4300$ *км*^{2}.

3. Действующая ширина $B_д$ определяется по графику изменения ширин водосбора по длине водотока как наибольшее значение, соответствующее принятой величине действующей длины $L_д = vt_в$. Порядок построения этого графика см. в главе 1.

4. Расчетная скорость вычисляется по формуле

$$v = \left[76 + 35{,}4L_д\left(IF^{0,6} + 0{,}0071\right)\right] K_б\delta \ км/сутки, \qquad (7.46)$$

где I — средний уклон основного водотока на участке от истока до замыкающего створа; F — площадь бассейна в *км*^{2}; $K_б$ и δ — поправочные коэффициенты.

Величины v, определенные по формуле (7.46), приведены в табл. 7.7.

Поправочный коэффициент $K_б$ принимается равным 0,7—0,9 для рек с весьма широкой заболоченной поймой на участке выше створа протяжением не менее 0,2—0,3 длины реки. Для

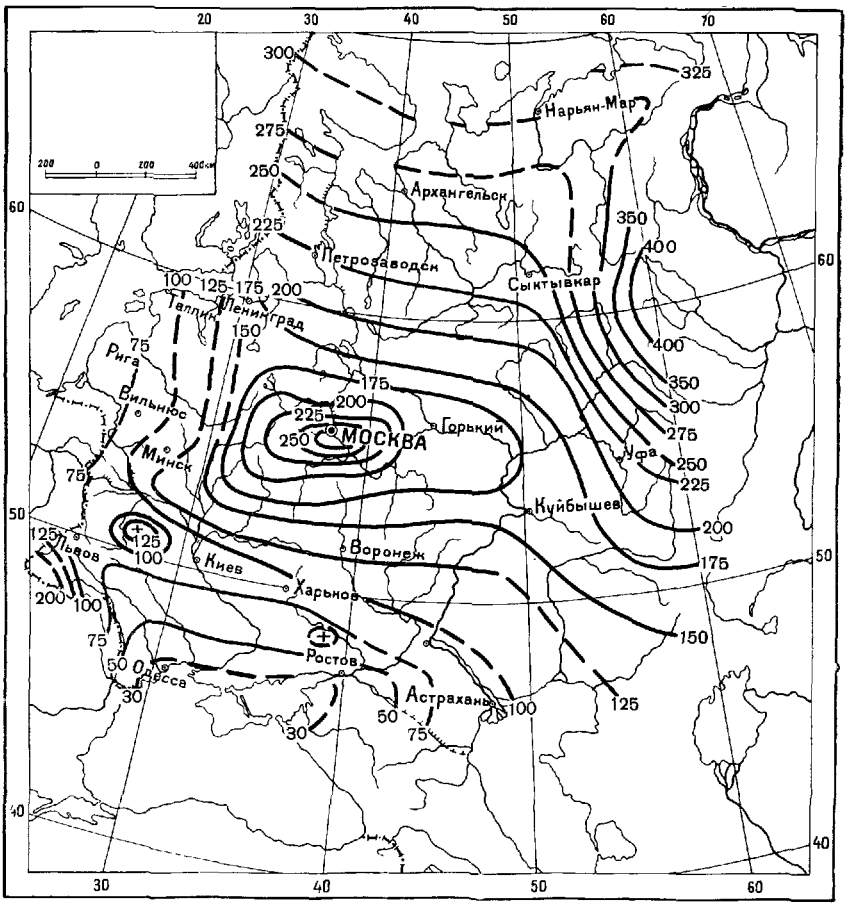


Рис. 7.14. Карта распределения суммарного слоя стока *h мм*.

безпойменных рек (овражного и каньонного типов) при больших уклонах K_6 принимается от 1,10 до 1,20.

Коэффициент δ учитывает снижение скорости при зарегулированности стока прудами и озерами. Его значение определяется по формулам (7.47) и (7.48).

Если водохранилище или озеро расположено у замыкающего створа,

$$\delta = 1 - \frac{W}{\sum Q}, \qquad (7.47)$$

или

$$\delta = 1 - \frac{10\Omega H}{Fh}, \qquad (7.47')$$

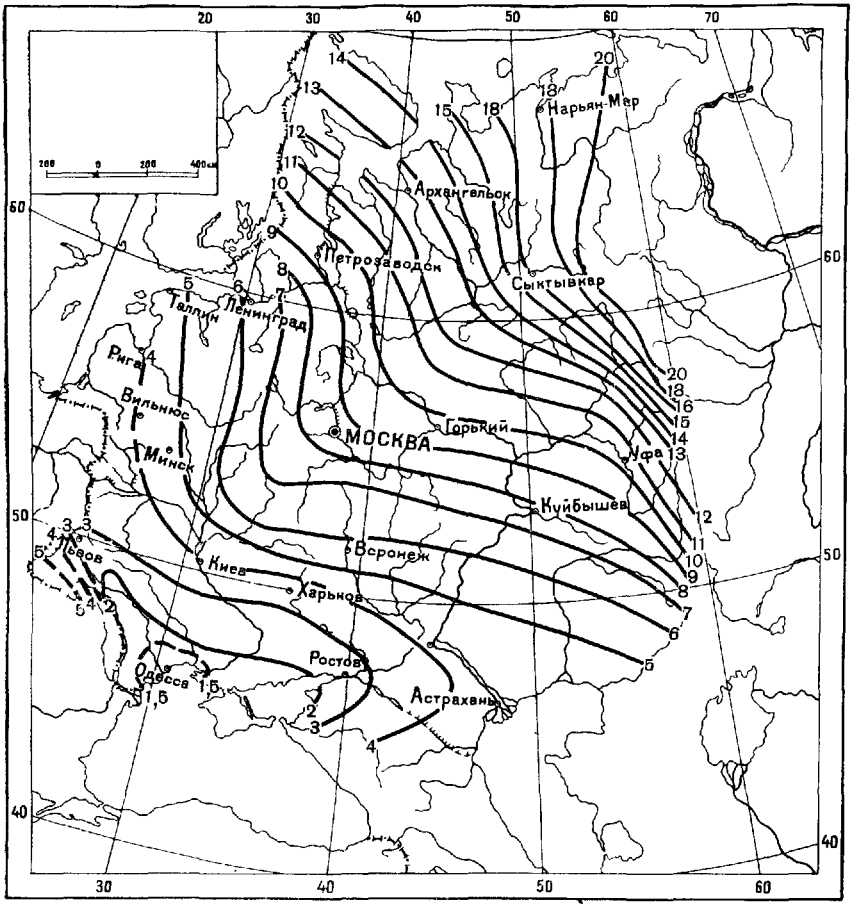


Рис. 7.15. Продолжительность поверхностной водоотдачи $t_в$ в сутках.

где W — регулирующий объем водохранилища или озера в $м^3$; ΣQ — суммарный весенний сток в $м^3$; Ω — площадь водохранилища или озера в гектарах; H — средняя глубина водохранилища или озера в $м$; h и F — имеют прежние значения.

Если водохранилище или озеро расположено выше замыкающего створа или в бассейне находится несколько водохранилищ или озер, то при вероятном отношении $\frac{W}{\Sigma Q} = 0{,}7 \div 1{,}0$

$$\delta = 1 - 0{,}7\frac{F_{зар}}{F}, \qquad (7.48)$$

при вероятном отношении $\frac{W}{\Sigma Q} = 0{,}3 \div 0{,}6$

$$\delta = 1 - 0{,}4 \frac{F_{зар}}{F}, \qquad (7.48')$$

где F — площадь бассейна до рассматриваемого створа; $F_{зар}$ — сумма площадей водосбора всех озер или водохранилищ, но не больше всей площади водосбора.

При зарегулированном стоке коэффициент δ вводится в расчет дважды: сначала для снижения расчетной скорости, затем для уменьшения самого расхода.

Если по формуле (7.46) $v < 8$ *км/сутки*, в расчет принимается $v = 8$ *км/сутки*, которая считается нижним пределом скорости добегания.

5. Коэффициент залесенности определяется по формуле

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{f_л}{F}}, \qquad (7.49)$$

где $f_л$ — площадь бассейна, покрытая лесом, в *км*^{2}.

Таблица 7.7

Значения скоростей продольного добегания v в *км/сутки*

Площадь бассеина, *км*^{2}	0,00001	0,00002	0,00005	0,0001	0,0002	0,0005	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0
1									8	13	20	32	42	52	65	76
2									11	18	25	38	48	58	72	82
5								8	16	24	33	46	56	66	80	91
10								11	20	29	38	52	62	73	87	97
20							9	15	25	35	44	58	68	79	93	
50						8	14	21	33	42	52	66	77	87		
100						11	18	26	38	48	59	73	83			
200					8	15	23	31	44	54	65	79				
500					12	21	30	39	52	63	73					
1 000				10	16	26	35	45	59	69	80					
2 000			8	13	20	31	41	51	65	75						
5 000			12	18	27	39	49	59	73							
10 000		8	16	23	32	45	55	66	80							
20 000		11	20	28	38	51	61	72								
50 000	10	16	27	36	46	60	70									
100 000	14	20	32	42	52	66	76									
200 000	17	25	38	48	58	72										

Таблица 7 8

Значения коэффициента повторяемости

№ района	Бассейны рек	Обеспеченность, %						
		0,1	0,2	0,5	1	3	5	10
1	Реки бассейна Баренцева моря на запад от Уральских гор до Мезени	1,2	1,14	1,06	1,0	0,93	0,90	0,86
2	Реки бассейна Белого моря: Мезень — Северная Двина до Ковды включительно . .	1,3	1,21	1,09	1,0	0,91	0,84	0,78
3	Реки Кольского полуострова, северные притоки Финского залива, притоки Онежского и Ладожского озер, а также озера Ильмень, реки между Невой и Нарвой, притоки Чудско-Псковского озера	1,40	1,26	1,10	1,0	0,85	0,78	0,68
4	Реки между Нарвой — Западной Двиной — Неманом, включая бассейны указанных рек, а также реки бассейна Верхнего Днепра (выше Киева), Припяти, Сожа, Десны, Сана, Днестра и Прута	1,45	1,29	1,11	1,0	0,81	0,72	0,64
5	Реки средней полосы УССР (без западных областей р. Дон) . .	1,55	1,39	1,17	1,0	0,78	0,70	0,62
6	Реки юга УССР (южнее 40°) и бассейны рек Западного Буга, правобережные притоки Припяти в пределах СССР	1,65	1,45	1,20	1,0	0,75	0,67	0,55
7	Бассейны Волги до Оки	1,30	1,21	1,09	1,0	0,89	0,80	0,73
8	Бассейн Оки и притоков Волги до впадения Камы	1,45	1,29	1,11	1,0	0,81	0,72	0,64
9	Река Кама и ее равнинные притоки . . .	1,25	1,18	1,08	1,0	0,90	0,83	0,75
10	Горные реки, берущие начало на западных склонах Уральских гор	1,35	1,24	1,10	1,0	0,83	0,75	0,66
11	Притоки Волги ниже впадения Камы . .	1,50	1,35	1,15	1,0	0,78	0,70	0,62
12	Бассейн Урала	1,70	1,50	1,20	1,0	0,72	0,60	0,45

Таблица 7.9

Значения коэффициента $K_2 = f\left(\frac{\tau}{t_в}\right)$

$\frac{\tau}{t_в}$	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	2,50	2,48	2,46	2,44	2,42	2,40	2,38	2,36	2,34	2,32
0,1	2,30	2,28	2,26	2,24	2,22	2,20	2,19	2,17	2,15	2,13
0,2	2,11	2,09	2,07	2,05	2,04	2,02	2,00	1,98	1,97	1,95
0,3	1,93	1,91	1,89	1,88	1,86	1,85	1,83	1,82	1,80	1,79
0,4	1,77	1,75	1,73	1,72	1,70	1,69	1,67	1,66	1,64	1,63
0,5	1,61	1,60	1,58	1,57	1,55	1,54	1,53	1,51	1,50	1,48
0,6	1,47	1,46	1,45	1,43	1,42	1,41	1,39	1,38	1,37	1,35
0,7	1,34	1,32	1,31	1,30	1,29	1,28	1,26	1,25	1,24	1,23
0,8	1,22	1,21	1,20	1,19	1,18	1,17	1,15	1,14	1,13	1,12
0,9	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01

Таблица 7.10

Значение коэффициента $K_3 = f(\tau)$

τ	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	—	2,57	2,57	2,57	2,57	2,56	2,56	2,55	2,54	2,51
0,1	2,48	2,44	2,40	2,37	2,34	2,31	2,28	2,26	2,23	2,21
0,2	2,18	2,16	2,13	2,11	2,08	2,06	2,04	2,01	1,99	1,96
0,3	1,93	1,91	1,89	1,87	1,85	1,83	1,81	1,79	1,77	1,75
0,4	1,73	1,71	1,69	1,68	1,66	1,64	1,62	1,60	1,58	1,57
0,5	1,55	1,53	1,52	1,50	1,49	1,47	1,45	1,44	1,42	1,41
0,6	1,39	1,38	1,37	1,35	1,34	1,32	1,31	1,3	1,29	1,27
0,7	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,21	1,20	1,19	1,18	1,17
0,8	1,16	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,09	1,08
0,9	1,07	1,06	1,05	1,04	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01	1,00

6. Коэффициент, учитывающий влияние заболоченности на уменьшение максимального расхода, определяется по формуле

$$\varphi = 1 - 0{,}5\frac{f_б}{F}, \qquad (7.50)$$

где $f_б$ — площадь бассейна, занятая болотами, в $км^2$.

7. Коэффициент повторяемости λ определяется по табл. 7.8.

8. Коэффициент K_2 в формуле (7.40), учитывающий неравномерность суточной водоотдачи за время стекания $t_в$, определяется в зависимости от соотношения $\tau/t_в$ по табл. 7.9. Предельное значение K_2 получается при $\tau = 1$ суткам.

9. Коэффициент K_3, учитывающий неравномерность внутрисуточной водоотдачи, находится в зависимости от $\tau = \frac{L}{v}$ по

табл. 7.10. Наивысшее значения K_3 определяется максимальной часовой отдачей, и тогда соотношение $\frac{L}{v} = \frac{1}{24} = 0{,}04$.

Пример 7.7. Определить максимальные расходы воды весеннего половодья р Бобр — с. Клыпенка 0,1; 1 и 5%-ной обеспеченности, пользуясь формулой А. В. Огиевского и В. И Мокляка.

Исходные данные: р. Бобр — с. Клыпенка принадлежит к бассейну Верхнего Днепра, является левобережным притоком р. Березены, имеет площадь водосбора $F=2150$ *км*^{2}, длину $L=109$ *км*, озерность менее 1%, заболоченность 18% и залесенность 37%. Пойма реки умеренная. Озерами и прудами сток не зарегулирован. Средний уклон основного водотока 0,003‰.

Порядок расчета:

1) пользуясь табл. 7.7, по уклону и площади устанавливаем расчетную скорость $v=60$ *км/сутки*;

2) время добегания $\tau = \frac{109}{60} = 2$ суткам;

3) продолжительность водоотдачи $t_в$ по карте (рис 7.15) составляет 7 суток

Таким образом, $1<\tau<t_в$ — расчет относится ко второму случаю и выполняется по формуле (7.44);

4) по карте (рис. 7.14) снимаем слой весеннего стока $h=150$ *мм*;

5) по табл. 7 9 определяем коэффициент суточной отдачи K_2 при $\frac{\tau}{t_в} = \frac{2}{7} \simeq 0{,}28$, $K_2=1{,}97$;

6) по формулам (7.49) и (7.50) определяем коэффициенты залесенности и заболоченности:

$$\beta = \frac{1}{1+0{,}37} = 0{,}73; \quad \varphi = 1 - 0{,}5 \cdot 0{,}18 = 0{,}91;$$

7) подставляя полученные параметры в формулу (7.44), вычисляем максимальный расход воды 1%-ной обеспеченности:

$$Q_{\max 1\%} = 0{,}0116 \frac{150}{7} \cdot 2150 \cdot 1{,}97 \cdot 0{,}73 \cdot 0{,}91 = 700 \ м^3/сек;$$

8) максимальные расходы 0,1 и 5%-ной обеспеченности вычисляются с помощью переходного коэффициента λ от расхода 1%-ной обеспеченности, значения которого получаем из табл. 7.8,

$$\lambda_{0{,}1\%} = 1{,}45 \quad \text{и} \quad \lambda_{5\%} = 0{,}72,$$

$$Q_{\max 0{,}1\%} = 1{,}45 \cdot 700 = 1000 \ м^3/сек,$$

$$Q_{\max 5\%} = 0{,}72 \cdot 700 = 510 \ м^3/сек.$$

Метод ГГИ — «Указания по определению расчетных максимальных расходов талых вод при отсутствии или недостаточности гидрометрических наблюдений» (СН 356-66). Эти Указания разработаны Государственным гидрологическим институтом под руководством А. А. Соколова и утверждены Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства. Действуют они в качестве официальных строительных норм с 1 июля 1967 г.

В основу разработки положена формула К. П. Воскресенского, параметры которой были установлены им для лесостепной и степной зон Европейской территории СССР.

Формула Воскресенского является дальнейшим развитием редукционных формул максимального стока талых вод, в которой основными параметрами служат слой и коэффициент дружности весеннего половодья. Эти параметры более устойчивы в однородных климатических условиях, чем параметр A. Слой весеннего половодья легко определяется по массовым сетевым наблюдениям и хорошо картируется.

При составлении Указаний формула Воскресенского получила дальнейшее развитие и уточнение. А. А. Соколов на основании анализа и обобщения материалов многолетних наблюдений по максимальному стоку талых вод в 1800 створах обосновал возможность применения этой формулы для всей территории СССР. Ниже излагается сокращенное содержание Указаний и расчетные формулы.

Указания распространяются на проектирование всех видов сооружений (речных гидротехнических сооружений, мостов и труб, сбросных сооружений мелиоративных систем, переходов рек линиями электропередач и др.), при котором требуется определение расчетных максимальных расходов талых вод на реках. Они применяются для расчета сооружений на реках с площадями водосборов не более 20 000 $км^2$ на Европейской территории СССР и не более 50 000 $км^2$ на Азиатской территории СССР, за исключением транзитных участков, где волна половодья сильно распластывается и максимальные расходы снижаются.

Максимальными расходами талых вод считаются наибольшие расходы воды рек, которые проходят в период половодья, вызванного снеготаянием в бассейне, с учетом дождевой составляющей. Для $F \leqslant 200$ $км^2$, а на территории Прибалтийских республик, Западной Украины, Белоруссии, Молдавии и горных районов для всех площадей одновременно производится расчет и максимальных расходов дождевых паводков. Из Q_{max} талых и Q_{max} дождевых вод выбирается наибольшее значение, которое определяет работу сооружения.

Предусматриваются два приема расчета: 1) при отсутствии подходящего аналога по предлагаемым в Указаниях формулам и их параметрам; 2) по методу аналогии с уточнением параметров формул по данным ближайшего створа или бассейна-аналога.

Для расчета Q_{max} талых вод необходимы следующие характеристики реки и ее бассейна в створе сооружения, влияющие на условия стока талых вод: площадь водосбора F $км^2$, залесенность бассейна $f_л$ в %; заболоченность $f_б$ в %; озерность $f_{оз}$ в % с учетом расположений озер в бассейне; зарегулирован-

ность водохранилищами; степень закарстованности бассейна в %; рельеф и характер почво-грунтов; длина главного водотока L *км*, средняя ширина водосбора $B=\frac{F}{L}$ *км*; средневзвешенный уклон главного водотока I‰; средняя высота бассейна над уровнем моря.

Часть перечисленных характеристик учитывается непосредственно в расчетной формуле, другие принимаются во внимание при выборе аналога из числа изученных рек.

Применительно к расчетам максимальных расходов талых вод реки СССР условно делятся на две группы: I — равнинные реки и II — горные реки.

К группе I относятся реки, бассейны которых расположены в пределах равнин и пластообразных возвышенностей (плоскогорий), где относительные колебания высот не превышают 400 *м* и снеготаяние поэтому захватывает одновременно весь или бо́льшую часть бассейна. В свою очередь они делятся на реки лесной зоны и зоны тундры, реки лесостепной и степной зон и реки засушливых степей и полупустынь.

К группе II относятся реки горных районов с резкими колебаниями высот, превышающими 400 *м* и обусловливающими неравномерное снеготаяние в различных высотных зонах бассейна.

Границы районов, в пределах которых расчет производится по схеме, предназначенной для равнинных или горных рек, показаны на карте приложения XXVII. Там же показаны районы, где снеговое половодье выражено слабо и где расчетными на всех реках независимо от размера водосбора являются максимальные расходы дождевых паводков.

Расчет максимальных расходов талых вод равнинных рек. Расчетный расход определяется по формуле

$$Q_{\max p}=q_{\max p}F=\frac{k_0 h_p F}{(F+1)^n}\delta_1\delta_2, \qquad (7.51)$$

где $Q_{\max p}$ — расчетный мгновенный максимальный расход талых вод в *м*^{3}/*сек*, вероятность превышения которого p%: $q_{\max p}$ — модуль максимального расчетного расхода воды $\frac{Q_{\max p}}{F}$ *м*^{3}/*сек* с 1 *км*^{2}; h_p — расчетный слой суммарного (без срезки грунтового питания) стока половодья той же вероятности превышения p%, что и искомый максимальный расход воды, в *мм*; F — площадь водосбора до замыкающего створа в *км*^{2}; $k_0=\frac{q_{\max p}}{h_p}$ — коэффициент дружности половодья на элементарных (малых) бассейнах (при $F\to 0$ и $\delta_1\delta_2=1$); n — показатель степени, характеризующий редукцию (уменьшение) коэффициента дружности

половодья $\frac{q_{\max p}}{h_p}$ в зависимости от площади водосбора; δ_1 — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды рек, зарегулированных озерами (δ_1) и водохранилищами (δ_1'); δ_2 — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды в заболоченных и залесенных бассейнах.

В приложении XXVIII дается номограмма степенной функции $(F+1)^n = f[(F+1), n]$.

Параметры формулы (7.51) определяются следующим образом.

Значения n и k_0 находятся в зависимости от природной зоны (района) и категории рельефа по табл. 7.11. Природная зона, указанная в этой таблице, в пределах которой расположен бассейн реки, устанавливается по карте приложения XXVII. Для бассейна, расположенного в двух смежных зонах, принимаются средние значения n и k_0.

Таблица 7.11

Значения параметров n и k_0

Природная зона (район)	n	k_0		
		категория рельефа		
		I	II	III
Зона тундры и лесная зона				
Европейская территория СССР, Восточная Сибирь	0,17	0,010	0,008	0,006
Западная Сибирь	0,25	—	0,013	0,010 [1]
Лесостепная и степная зоны				
Европейская территория СССР (без Северного Кавказа)	0,25	0,020	0,015	0,012
Северный Кавказ	0,25	0,030	0,025	—
Западная Сибирь	0,25	0,030	0,020	0,015
Зона засушливых степей и полупустынь				
Западный и Центральный Казахстан	0,35	0,060	0,01	—

[1] Для сильно заболоченных бассейнов с площадями водосборов более 10 000 км².

Зависимости $\frac{q_{\max p}}{h_p \delta_1 \delta_2} = f(F+1)$, по которым определены параметры n и k_0, приведенные в табл. 7.11, построены по равно-

обеспеченным значениям модулей $q_{\max p}$ и слоев половодья h_p с вероятностью превышения $p=1\%$.

Категория рельефа определяется по гипсометрической карте в зависимости от степени расчлененности бассейна. К первой категории рельефа относятся бассейны, расположенные в пределах холмистых и платообразных возвышенностей, ко второй — бассейны, в пределах которых холмистые возвышенности чередуются с понижениями; к третьей — бассейны, бóльшая часть которых расположена в пределах плоских низменностей, а также реки, имеющие широкие заболоченные поймы.

Признаком для установления категории рельефа служит отношение средневзвешенного уклона главного водотока расчетной реки $I_{ср}$ к типовому уклону $I_т$

$$\alpha = \frac{I_{ср}}{I_т}, \qquad (7.52)$$

где $I_т = \frac{25}{\sqrt{(F+1)}}$ (величины уклонов в ‰).

При $\alpha > 1{,}0$ бассейн относится к первой категории рельефа, при $\alpha = 1{,}0 \div 0{,}5$ — ко второй, при $\alpha < 0{,}5$ — к третьей.

Слой стока весеннего половодья заданной вероятности превышения h_p определяется по трем статистическим параметрам: среднему многолетнему слою стока половодья $\overline{h}$, коэффициентам вариации C_{vh} и асимметрии C_{sh} слоя стока. Величина $\overline{h}$ определяется по карте изолиний среднего слоя стока половодья (приложение XXXI). Для рек с $F<100$ *км*^{2} на Европейской и $F<1000$ *км*^{2} Азиатской территории СССР в величину $\overline{h}$, установленную по карте, вводятся поправочные коэффициенты, учитывающие отличие условий стока в их бассейнах по сравнению со средними зональными. Величина этих коэффициентов устанавливается по табл. 7.12.

Таблица 7.12

Условия стока по сравнению с зональными	Характеристика бассейна	Поправочные коэффициенты
Более благоприятные	Холмистый рельеф, глинистые почвы	1,1
Менее благоприятные	Плоский рельеф, песчаные почвы	0,9

При особо неблагоприятных условиях стока (сосновые леса на песках, значительное распространение туфогенных пород и др.) допускается снижение величины $\overline{h}$, снятой с карты, до 50%.

В засушливых районах и полупустынной зоне Западной Сибири и Казахстана учитывается зависимость $\overline{h}=f(F)$. Для $F<$ <3000 *км*^{2} к $\overline{h}$, снятым с карты, вводятся коэффициенты по табл. 7.13.

Таблица 7.13

Поправочные коэффициенты к среднему слою стока половодья, определенному по приложению XXXI

Слой стока, *мм*	Площадь водосбора, *км*^{2}				
	менее 10	100	500	1000	3000
Менее 10	3,5	2,3	1,6	1,4	1,0
От 10 до 15	2,5	1,6	1,4	1,2	1,0
От 15 до 30	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0

Для промежуточных площадей водосборов, не приведенных в таблице, значения поправочных коэффициентов определяются интерполяцией.

При озерности бассейна $f_{оз}>2\%$ учитывается снижение $\overline{h}$ по сравнению с его зональным значением согласно табл. 7.14.

Таблица 7.14

Снижение слоя стока половодья в зависимости от озерности

$f_{оз}$ в %	Коэффициент снижения
2—5	0,9
5—10	0,8
10—15	0,15
15 и более	0,7

Таблица 7.15

Изменение C_{vh} в зависимости от площади водосбора

F *км*^{2}	Поправочный коэффициент
0—50	1,25
50—100	1,00
101—150	1,15
150—200	1,05

Значения C_{vh} для бассейнов с $F>200$ *км*^{2} снимаются с карты изолиний (приложение XXXII). Для малых бассейнов, $F<$ <200 *км*^{2}, к снятым с карты C_{vh} вводится поправочный коэффициент, величина которого принимается по табл. 7.15 в зависимости от площади водосбора.

Значение C_{sh} принимается по соотношению $C_{sh}=2C_{vh}$. Для Северо-Запада и Северо-Востока СССР, где в формировании максимального стока половодья в значительной мере участвуют дождевые осадки, принимается соотношение $C_{sh}=3C_{vh}$.

Ординаты кривых обеспеченности k_p для определения расчетного значения слоя стока половодья $h_p=k_p\overline{h}$ принимаются по таблицам Н. С. Крицкого и М. Ф. Менкеля (таблицы трехпара-

метрического гамма-распределения — приложение 8 или по графику приложения XXIX).

Коэффициент δ_1, учитывающий снижение максимального стока рек, зарегулированных озерами, определяется по формуле

$$\delta_1 = \frac{1}{1 + Cf'_{оз}}, \tag{7.53}$$

где C — коэффициент, величина которого в зависимости от среднего слоя стока половодья колеблется от 0,2 (при $\overline{h} \geqslant 100$ *мм*) до 0,4 (при $\overline{h} < 100$ *мм*): $f'_{оз}$ — средневзвешенный коэффициент озерности

$$f'_{оз} = \sum_{i=1}^{n} \left(100 \frac{S_i}{F} \cdot \frac{f_i}{F}\right) \tag{7.54}$$

(здесь F — площадь водосбора в створе проектируемого сооружения, S_i — площадь зеркала озера, f_i — площадь частного водосбора озера).

Поправочный коэффициент δ'_1 на снижение максимальных расходов воды рек, зарегулированных водохранилищами, вводится с учетом проектных материалов.

Коэффициент δ_2, учитывающий снижение максимального расхода воды в залесенных и заболоченных бассейнах, определяется по формуле

$$\delta_2 = 1 - \gamma (0{,}05 f_л + 0{,}1 f_б + 1), \tag{7.55}$$

где $f_л$ — степень залесенности бассейна в %; $f_б$ — степень заболоченности бассейна в %; γ — эмпирический коэффициент, равный 0,8.

Величины δ_2 при $\gamma = 0{,}8$ в зависимости от $\beta = (0{,}05\ f_л + 0{,}1\ f_б + 1)$ приведены в табл. 7.16.

Таблица 7.16

Величины поправочных коэффициентов δ_2

β	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8
1	1,00	0,94	0,88	0,84	0,80
2	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64
3	0,62	0,60	0,58	0,56	0,51
4	0,52	0,50	0,48	0,47	0,46
5	0,44	0,43	0 42	0,40	0,39
6	0,38	0,37	0,36	0,34	0,34
7	0,32	0,31	0,30	0,30	0,29

Примечания: 1. $f_л$ менее 10% и $f_б$ менее 5% не принимаются во внимание при расчете максимальных расходов.

2. При $\beta > 8$ принимается $\delta_2 = 0{,}30$.

3. При $f_{оз} > 20\%$ влияние $f_л$ и $f_б$ не учитывается.

При наличии данных многолетних наблюдений по смежным бассейнам или створам расчетный максимум может быть уточнен или вычислен методом аналогии. Для этого путем обратных вычислений по бассейну-аналогу определяется параметр k_0 по формуле

$$k_{0\,a} = \frac{q_{1\%\,a}(F_a + 1)^n}{n_{1\%\,a}\delta_{1\,a}\delta_{2a}}, \qquad (7.56)$$

где n — районный параметр, определяемый по табл. 7.11; F_a, $q_{1\%\,a}$, $h_{1\%\,a}$; $\delta_{1\,a}$ и $\delta_{2\,a}$ — параметры бассейна реки-аналога, определяемые известными методами и по формулам (7.53), (7.55).

Значение h_p для бассейна в створе проектируемого сооружения определяется по вышеизложенным рекомендациям или принимается по данным бассейна-аналога.

Максимальный расход талых вод в створе сооружения определяется по формуле (7.51).

В качестве аналогов принимаются бассейны, расположенные в одной и той же природной зоне, с одинаковым показателем редукции n, имеющие продолжительные и надежные гидрометрические наблюдения и близкие с расчетным бассейном факторы подстилающей поверхности.

Расчет максимальных расходов талых вод горных рек. Максимальные расходы талых вод горных рек с весенне-летним половодьем (Урал, Карпаты, Алтай, Саяны, Камчатка, Сахалин, горные реки Северо-Востока СССР) определяются по формуле

$$Q_p = \frac{k_0 h_p F}{(F + 1)^{0,15}}\delta_1. \qquad (7.57)$$

Обозначения здесь те же, что и в формуле (7.51).

Параметр k_0 формулы (7.57) принимается по табл. 7.17.

Параметр k_0 уточняется по реке-аналогу. Его значение для аналога определяется по формуле

$$k_0 = \frac{q_{1\%\,a}(F_a + 1)^{0,15}}{h_{1\%\,a}\delta_{1\,a}}. \qquad (7.58)$$

k_0, вычисленное по формуле (7.58), подставляется в формулу (7.57).

Значения $\overline{h}$ и C_{vh} определяются по приложению XXXI и XXXII, C_{sh} принимается по соотношению $C_{sh} = (3 \div 4)C_{vh}$.

Максимальные расходы талых вод рек с летним половодьем (высокогорные районы СССР) вычисляются по формуле

$$Q_p = \frac{k_0 h_{pr} F}{(F + 1)^{0,15}} \cdot \delta_1, \qquad (7.59)$$

Таблица 7.17

Значения параметра k_0

Географический район	Средняя высота бассейна $H_{ср}$ *м* над уровнем моря	k_0
Урал	До 500	0,0025
	Более 500	0,0018
Карпаты		0,0045
Алтай	До 1000	0,0025
	1000—2000	0,0015
	Более 2000	0,0010
Центральный Алтай (засушливые Чуйские степи)	Более 2000	0,0007
Северо-Восток СССР		0,0030
Камчатка		0,0010
Сахалин		
северный		0,0014
южный		0,0020

где h_{pr} — расчетный слой годового стока вероятностью превышения $p\%$.

h_{pr} определяется по указаниям расчета нормы годового стока и обеспеченных значений годовых расходов (§ 3.4 и § 4.3). k_0 рассчитывается по бассейну-аналогу

$$k_0 = \frac{q_{1\%\,a}(F_a+1)^{0,15}}{h_{1\%\,г\,a}\delta_{1a}}. \qquad (7.60)$$

При выборе бассейна-аналога в горных районах, кроме уже известных требований, учитывается положение бассейна в горной системе, его удаленность и защищенность от влагоносных ветров, амплитуда высот, доля площади, расположенная выше снеговой линии.

Пример 7.8. Определить максимальные расходы весеннего половодья р. Неи у с. Парфеньева обеспеченностью 1 и 5%, пользуясь формулой (7.51).

Характеристики реки и ее бассейна, влияющие на условия стока талых вод, выписываем из справочника «Ресурсы поверхностных вод СССР».

Река Нея является левобережным притоком р. Унжи, протекает в лесной зоне ЕТС. Площадь водосбора, замыкаемая створом у с. Парфеньева, $F=954$ *км*^{2}, залесенность бассейна $f_л=75\%$, заболоченность $f_б$ менее 1%, озерность $f_{оз}$ менее 1%, средняя высота бассейна 170 *м* над уровнем моря, средневзвешенный уклон главного водотока $I=0{,}7‰$. По формуле (7.52) бассейн относится ко второй категории рельефа ($\alpha=0{,}87$).

Запишем расчетную формулу (7.51) и установим значения ее параметров для бассейна р. Неи у с. Парфеньева.

$$Q_{\max p} = q_{\max p}F = \frac{k_0 h_p F}{(F+1)^n}\delta_1\delta_2,$$

k — коэффициент дружности половодья по табл. 7.11 принимается равным 0,008; n — показатель степени редукции по той же табл. 7.11 принимается равным 0,17; $\overline{h}$ — среднее значение слоя половодья устанавливаем по карте (приложение XXXI) равным 140 *мм*; C_{vh} — коэффициент вариации слоя стока половодья по карте (приложение XXXII) равен 0,38.

Принимая $C_v = 2C_v = 0{,}76$, по приложению 7 получаем значения модульных коэффициентов $k_{1\%} = 2{,}09$ и $k_{5\%} = 1{,}70$ и обеспеченные значения слоя половодья $h_{1\%} = 2{,}09 \cdot 140 = 293$ *мм* и $h_{5\%} = 1{,}70 \cdot 140 = 238$ *мм*.

δ_1 — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода за счет зарегулированности озерами, принимаем равным 1,0, так как $f_{оз}$ менее 1%.

δ_2 — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода за счет залесенности и заболоченности, по формуле (7.55) равен $\delta_2 = 1 - 0{,}8 \lg(0{,}05 \times 75 + 1) = 0{,}46$.

По установленным расчетным параметрам вычислим значения максимальных расходов весеннего половодья:

$$Q_{1\%} = \frac{0{,}08 \cdot 293 \cdot 954}{955 \cdot 0{,}17} \cdot 0{,}46 = 320 \ м^3/сек,$$

$$Q_{5\%} = \frac{0{,}08 \cdot 238 \cdot 954}{955 \cdot 0{,}17} \cdot 0{,}46 = 260 \ м^3/сек.$$

На р. Нее у с. Парфеньева имеются наблюдения над стоком за 17 лет. Наибольший максимальный расход, наблюденный в 1966 г., равен 182 $м^3/сек$.

Возможно, что вычисленные по формуле (7.51) максимальные расходы несколько завышены вследствие низкого значения параметра $n = 0{,}17$, который для данного района, как показывают дополнительные исследования, равен 0,20—0,22.

Расчет по формулам максимальных расходов дождевых паводков

Рассмотрим формулы Д. Л. Соколовского и Г. А. Алексеева и метод ГГИ, которые применимы для всех районов Советского Союза, а также районные формулы ЛГМИ и ДВ НИГМИ, разработанные для рек бассейна Амура, где дождевые паводки представляют особенно большой интерес. Указанные формулы содержат небольшое количество легко определяемых параметров, что является удобным в учебных целях.

Формула Д. Л. Соколовского. Эта расчетная формула максимальных расходов воды дождевых паводков относится к объемным формулам, связывающим максимальный расход с объемом и формой гидрографа паводка. В окончательном виде она записывается так:

$$Q_{\max p} = \frac{0{,}28 (H_{Tp} - H_0) \alpha_p F}{t_п} f \delta \delta_1 + Q_{гр}, \qquad (7.61)$$

где $H_{T\,p}$ — слой осадков за время расчетного дождя продолжительностью T часов в *мм*; H_0 — слой потерь осадков, идущих на поверхностное смачивание, начальное увлажнение почвы и заполнение микрорельефа, в *мм*; α_p — коэффициент дождевого стока; F — площадь водосбора в $км^2$, одновременно орошаемая дождем; $t_п$ — продолжительность подъема паводка в часах; f — коэффициент формы паводка; δ — коэффициент, учитывающий аккумулирующее влияние озер, болот и лесов; δ_1 — коэффициент учета руслового регулирования; $Q_{гр}$ — расход грунтового питания, предшествующий паводку; p — обеспеченность в %.

Формула (7.61) применима для малых и больших водосборов всех районов, за исключением лесостепной и степной зоны ЕТС, а также засушливых и полупустынных районов Азиатской части СССР, где она пригодна лишь для водосборов с $F \leqslant 200 \div 500$ *км*^{2}.

Расчетный слой осадков $H_{T\,p}$ определяется по формуле (2.5) ГГИ с уточнением показателя редукции ливней и дождей n_1 при расчетах или по данным, приведенным в монографиях «Ресурсы поверхностных вод СССР». При наличии сведений о суточных максимумах осадков $H_{ср}$ обеспеченностью $p\%$ и значении n_1 слой осадков за время T можно установить по формуле

$$H_{Tp} = H_{ср}\left(\frac{T}{24}\right)^{1-n_1}. \qquad (7.62)$$

Расчетная продолжительность осадков T в часах определяется в зависимости от продолжительности подъема паводка $t_п$ по табл. 7.18.

Таблица 7.18

$t_п$ часы	T часы	$t_п$ часы	T часы
1,0	1,0	24	12,5
2,0	1,6	36	18,0
5,0	3,2	48	24,0
10	6,2	72	30
15	8,6	120	45

Приближенные значения слоя начальных потерь H_0 *мм* и коэффициентов дождевого стока α_p приводятся в табл. 7.19.

Таблица 7.19

Значения коэффициента стока α и слоя начальных потерь H_0

Район, зона	H_0 *мм*	Значения α при расчетной обеспеченности $p\%$		
		10	2—3	1
Лесная зона	10	0,10—0,15	0,20—0,25	0,25—0,30
Лесостепная и степная зоны для водосборов с $F \leqslant 500 \div 1000$ *км*^{2}	20	0,10—0,15	0,20—0,30	0,30—0,40
Предгорные районы Урала и Карпат, горные и предгорные районы Средней Азии и Кавказа (кроме Черноморского побережья)	15	0,15—0,20	0,25—0,30	0,35—0,40
Дальний Восток (кроме южного Приморья), горные районы Карпат	10	0,20—0,25	0,30—0,40	0,40—0,60
Дальний Восток (южное Приморье), Черноморское побережье Кавказа, Западная Грузия	5	0,25—0,30	0,30—0,50	0,60—0,80

Продолжительность подъема паводка $t_п$ приравнивается времени добегания пика паводка $\tau_п$ и определяется по формуле

$$t_п = \tau_п = \frac{L}{3{,}6\bar{v}_п}, \tag{7.63}$$

где L — длина реки от наиболее удаленной части бассейна до расчетного створа в *км*; $\bar{v}_п$ — средняя скорость добегания пика паводка в *м/сек*, равная 0,7 от наибольшей скорости в расчетном створе, отвечающей фазе максимума

$$\bar{v}_п = 0{,}7 v_{max}. \tag{7.64}$$

Значение v_{max} может быть определено при наличии данных об уклоне и средней глубине по формуле Шези или формуле без коэффициента шероховатости

$$v_{max} = 17 I^{0{,}40} h_{ср}^{0{,}5}, \tag{7.65}$$

где I — продольный уклон тальвега в относительных единицах; $h_{ср}$ — средняя глубина в расчетном створе в *м*.

Приближенное значение v_{max} может быть установлено по табл. 7.20.

Таблица 7.20

Максимальные значения скорости течения рек в *м/сек*

Характер реки	Малые реки с глубинами менее 1 *м*	Прочие реки
Заболоченные	0,3—0,5	0,4—0,7
Обычные равнинные	0,6—1,0	0,8—1,2
Полугорные или с холмистым рельефом бассейна	0,8—1,5	1,2—2,0
Горные	1,5—2,0	2,0—2,4

Коэффициент формы паводка f зависит от показателей степени кривых подъема и спада паводка m и n и соотношения продолжительности спада и подъема γ. При $m=2$ и $n=3$ получим

$$f = \frac{12}{4 + 3\gamma}, \tag{7.66}$$

где γ — отношение продолжительности спада и продолжительности подъема, определяемое по табл. 7.21.

Коэффициент учета влияния озер, болот и леса δ определяется по формуле (7.33).

Таблица 7.21

Характер реки	γ	f
Малые реки и лога с безлесными бассейнами и слабопроницаемыми почвами	2,0—2,5	1,20—1,04
Малые реки и лога с бассейнами, покрытыми лесом или проницаемыми почвами, а также средние реки с обычными поймами	3,0—4,0	0,92—0,75
Средние и большие реки со значительными поймами	4,0—7,0	0,75—0,48

Русловое регулирование учитывается на больших и средних реках при наличии значительных пойм по формуле

$$\delta_1 = \frac{h_1 F_1}{W}, \tag{7.67}$$

где h_1 — глубина наполнения поймы при паводках; F_1 — площадь поймы; W — объем дождевого паводка, определяемый по формуле

$$W = 10^3 (H_T - H_0) \alpha F, \tag{7.68}$$

где H_T, H_0, α, F — имеют те же значения, что и в формуле (7.61).

Величина грунтового расхода $Q_{гр}$ для суходолов, балок, логов принимается равной нулю, а для постоянных водотоков и рек определяется приближенно по равенству (3.18)

$$Q_{гр} = \frac{M_0 F}{1000},$$

где M_0 — норма годового стока в *л/сек* с 1 *км*^{2}.

Пример 7.9. Определить максимальный расход воды ливневого паводка 1%-ной обеспеченности балки Крутой Яр в районе ж.-д. ст. Ясиноватой (Донбасс) по формуле (7.61).

Исходные данные: площадь водосбора балки $F=22{,}5$ *км*^{2}, длина по тальвегу $L=8{,}5$ *км*, рельеф бассейна крупнохолмистый, залесенность незначительная, озер, водохранилищ и болот в бассейне нет.

Установим расчетные параметры формулы. По табл. 7.20 принимаем $v_{max}=1{,}5$ *м/сек*, тогда $v_п=0{,}7 \cdot 1{,}5=1{,}05$ *м/сек*.

Продолжительность подъема паводка $t_п=\tau_п=\dfrac{8{,}5}{3{,}6 \cdot 1{,}05}=2{,}25$ *часа*.

Продолжительность расчетного дождя по табл. 7.18 $T=1{,}7$ *часа*. Слой осадков $H_1\%$ за дождь продолжительностью 1,7 *часа* по формуле (2.5) при $S_1\%=15$ *мм/мин* (по ст. Константиновка)

$$H_{1\%} = 15 (60 \cdot 1{,}7)^{1/3} = 70 \text{ мм}.$$

По табл. 7.19 принимаем $H_0=20$ *мм* и $\alpha_{1\%}=0{,}40$. При $\gamma=2{,}0$ (см. табл. 7.21) коэффициент формы гидрографа $f=1{,}2$.

По формуле (7.61) при установленных параметрах максимальный расход ливневого паводка 1%-ной обеспеченности балки Крутой Яр равен

$$Q_{\max 1\%} = \frac{0{,}28\,(70-20)\cdot 0{,}40\cdot 22{,}5}{2{,}25}\cdot 1{,}2 = 67{,}2\ м^3/сек.$$

Формула Г. А. Алексеева. Формула (7.35) для расчета максимальных расходов весеннего половодья применима и для расчета максимальных расходов дождевых паводков. В этом случае максимальный модуль притока и слой паводочного стока определяются в зависимости от суточного слоя осадков и коэффициента стока. Способы определения параметров этой формулы для расчета дождевых максимумов подробно рассматриваются в методических рекомендациях к составлению справочника по водным ресурсам СССР, вып. 7, часть II, 1963 г.

Здесь представим последний вариант схемы расчета максимальных расходов воды дождевых паводков, которая, как отмечает Алексеев, принципиально применима и для расчета максимальных расходов талых вод.

В основу расчетной схемы положена широко известная формула, учитывающая максимальную интенсивность дождя за расчетный интервал времени или редукцию максимальной величины средней интенсивности дождя с увеличением интервала времени осреднения

$$Q_{\max p} = q_{\max p} F = 16{,}67\overline{a}_{\tau p} F\varphi r = 16{,}67 H_{\text{ср}}\overline{\psi}(\tau)\, F\varphi r, \quad (7.69)$$

где $Q_{\max p}$ — максимальный расход воды в $м^3/сек$ заданной обеспеченности; $q_{\max p}$ — модуль максимального стока в $м^3/сек$ с 1 $км^2$; $\overline{\alpha_\tau}$ — максимальная интенсивность осадков в $мм/мин$, средняя за расчетную продолжительность τ и равная, согласно формуле (2.12), $H_{\text{ср}}\overline{\psi}(\tau)$; $H_{\text{ср}}$ — суточный слой осадков в $мм$; $\psi(\tau)$ — ордината кривой редукции интенсивности осадков, равная $\frac{\overline{\alpha_\tau}}{H_c}$; τ равно бассейновому времени добегания; F — площадь водосбора в $км^2$; r — коэффициент, учитывающий влияние озер и водохранилищ, определяемый по формуле (7.38), φ — безразмерный сборный коэффициент, равный произведению трех коэффициентов

$$\varphi = \varphi_\tau \varphi_1 \varphi_2, \quad (7.70)$$

где φ_τ — коэффициент стока от наибольшего слоя осадков $H_\tau = \overline{a_\tau}\tau$ за расчетную продолжительность τ; $\varphi_1 \leqslant 1{,}0$ — коэффициент, учитывающий неравномерность выпадения осадков по площади бассейна; $\varphi_2 \leqslant 1{,}0$ — коэффициент, учитывающий регулирующее влияние бассейна (склонов и русловой сети).

Слой паводочного стока h_p определяется по равенству

$$h_p = \alpha H_T = \alpha H_{ср} \psi(T), \qquad (7.71)$$

где α — суммарный или объемный коэффициент стока от паводкообразующих осадков $H_T = H_{ср}\psi(T)$ за время T *минут*, равное продолжительности паводка.

Значения $\alpha = \dfrac{h_p}{H_T}$ определяются для каждого района на основании графиков связи $h = f(H_T)$, построенных по данным наблюдений стоковых пунктов.

Параметры формул (7.69) и (7.71) — расчетная продолжительность осадков τ, сборный коэффициент φ и расчетная величина $\psi(T)$ — определяются путем обратных вычислений по наблюденным $Q_{\max p}$, $q_{\max p}$, h_p, $H_{ср}$, α и районным кривым редукции осадков $\psi(\tau)$ или $\bar{\psi}(\tau) = \dfrac{\psi(\tau)}{\tau}$.

Величина $\psi(T)$ определяется для каждого стокового пункта-аналога по известным h_p, α и $H_{ср}$

$$\psi(T) = \frac{h_p}{\alpha H_{ср}} \qquad (7.72)$$

и уточняется в зависимости от соответствия морфологических характеристик F, L, I неизученного бассейна и бассейна-аналога.

Для определения расчетной продолжительности осадков сначала вычисляется по опорным пунктам значение

$$\bar{\psi}(\tau) = \frac{q_{\max p}}{16{,}67 \alpha H_{ср}}, \qquad \tau = f(\bar{\psi}), \qquad (7.73)$$

заменяя при этом сборный коэффициент φ коэффициентом паводочного стока $\alpha \geqslant \varphi$.

Затем путем сопоставления с районными табличными значениями $\bar{\psi}(\tau)$ для опорных пунктов устанавливается соответствующее значение расчетной продолжительности дождя, которое приравнивается общему или бассейновому времени добегания τ.

Для неизученных бассейнов расчетная продолжительность дождя, равная бассейновому времени добегания τ, устанавливается по русловому времени добегания $\tau_р$ и коэффициенту пропорциональности $k_\tau = \dfrac{\tau}{\tau_р}$ по формуле

$$\tau = \tau_р k_\tau = 16{,}67 \frac{L}{v_р} \cdot k_\tau = \frac{16{,}67 L k_\tau}{a I^{1/3} Q_{\max p}^{1/4}}, \qquad (7.74)$$

где $\tau_р$ — время руслового добегания в мин.; L — длина главного водотока в *км*; $v_р$ — средняя русловая скорость добегания воды

в *м/сек*; I — уклон реки в ‰; a — коэффициент, зависящий от шероховатости водотока, принимаемый приближенно равным 0,15.

Значения k_τ устанавливаются по графикам связи $\tau = f(\tau_p) = k_\tau \tau_p$ между русловым временем добегания τ_p и расчетной продолжительностью осадков, которые строятся по материалам стоковых пунктов данного физико-географического района. По Алексееву, примерные значения k_τ следующие: 0,75—1,0 — для засушливых степных районов, 1,0—1,2 — для степной зоны, 1,2—1,5 — для лесостепной зоны и 1,5—2,0 — для лесной зоны и полугорных рек.

Наконец, исходя из полученных порайонных расчетных зависимостей $\tau = f(\tau_p) = \tau_p k_\tau$, по материалам стоковых пунктов уточняется величина сборного коэффициента φ, принятого ранее равным объемному коэффициенту стока α, по формуле

$$\varphi = \frac{q_{\max p}}{16{,}67 H_{cp} \overline{\psi}(\tau) r}, \qquad (7.75)$$

где значения $\overline{\psi}(\tau)$, соответствующие $\tau = \tau_p k_\tau$, определяются по районной кривой редукции средней интенсивности осадков $\overline{\psi}(\tau)$.

Продолжительность расчетного дождя $\tau = \tau_p k_\tau$, входящая в правую часть формулы (7.69) и зависящая от искомого максимального расхода $Q_{\max p}$, определяется по формуле (7.74) путем последовательных приближений. Чтобы избежать этого, Алексеев рекомендует устанавливать τ путем совместного решения уравнений (7.69) и (7.74) относительно τ. Для сокращения записи и удобства вычислений вводится ряд вспомогательных параметров.

Пример 7.10. Определить максимальный расход дождевого паводка 1%-ной обеспеченности на р. Тихвинке у д. Горелухи по слою суточных осадков $H_{1\%} = 75$ *мм* и $\varphi = 0{,}5$, пользуясь формулой (7.69)

Водосбор р. Тихвинки у д. Горелухи характеризуется следующими данными: $F = 2200$ *км*^{2}, $L = 139$ *км*, $I = 0{,}75$‰, $f_л = 0{,}69$, $f_б = 0{,}11$, $f_{оз} = 0{,}005$, $\alpha = \beta = 2$.

Прежде всего заметим, что влияние болот и леса на снижение максимального расхода формулой (7.69) непосредственно не учитывается, как это было в более ранних формулах Алексеева. Поэтому, вычислив по формуле (7.38) коэффициент снижения максимального расхода озерами

$$r = \frac{1 - 0{,}005}{1 + 25 \cdot 0{,}005} = 0{,}885,$$

последовательными приближениями будем вычислять максимальный расход 1%-ной обеспеченности. Для определения $\overline{\psi}(\tau)$ или $\frac{\overline{a}_\tau}{H_{c\,1\%}}$ воспользуемся табл. 11.3 учебника «Речной сток» 1968 г. Д. Л. Соколовского, в которой приводятся эти значения для Белорусской ССР, что мало отразится на результатах учебного примера.

Первое приближение. Задавшись $v'_р=0{,}50$ *м/сек* и приняв $k_\tau=1{,}5$, по формуле (7.74) получим общее время добегания $\tau'=1{,}5\cdot 16{,}67\frac{139}{0{,}50}=6950$ мин.$\approx$ $\approx 4{,}8$ суток. Приравняв его продолжительности расчетного дождя, по указанной таблице получим $\bar{\psi}(\tau')=0{,}00021$ и $\bar{a}_\tau=H_{с\,1\%}\cdot\bar{\psi}(\tau')=75\cdot 0{,}00021=$ $=0{,}01575$ *мм/мин*.

По формуле (7.69) $Q'_{max\,1\%}=16{,}67\cdot 0{,}01575\cdot 2200\cdot 0{,}5\cdot 0{,}885=256$ *м³/сек*.

Второе приближение. По установленному $Q'_{max\,1\%}$ вычислим среднюю русловую скорость добегания, $v''_р=0{,}15\cdot 0{,}75^{1/3}\cdot 256^{1/4}=0{,}546$ *м/сек*, которой соответствует $\tau''=1{,}5\cdot 16{,}67\frac{139}{0{,}546}=6370$ мин.$\approx 4{,}4$ суток.

Новому значению τ'' соответствует $\bar{\psi}(\tau'')=0{,}00023$, при котором $\bar{a}_{\tau''}=$ $=75\cdot 0{,}00023=0{,}01725$ *мм/мин*. Тогда $Q''_{max\,1\%}=280$ *м³/сек*

Разница $Q''-Q'=24$ *м³/сек*, что больше 5% от $Q''_{max\,1\%}$.

Третье приближение. По $Q''_{max\,1\%}$ получим значение $v'''_р=0{,}553$ *м/сек*, которому соответствует $\tau'''=6280$ мин., $\bar{\psi}(\tau''')=0{,}00024$, $\bar{a}_{\tau'''}=0{,}0180$ *мм/мин*. При новых значениях характеристик $Q'''_{max\,1\%}=292$ *м³/сек*.

Разница $Q'''-Q''=12$ *м³/сек*, что меньше 5% от $Q'''_{max\,1\%}$.

В качестве расчетного значения максимального расхода воды дождевого паводка 1%-ной обеспеченности р. Тихвинки у д. Горелухи принимается

$$Q_{max\,1\%}=292\ м^3/сек.$$

Формула ЛГМИ. Формула рекомендуется для расчета максимальных расходов дождевых паводков неизученных рек и малых водотоков бассейна Амура разного диапазона площадей водосборов. В основе ее лежит формула предельной интенсивности стока

$$Q_{max\,p}=q_{max\,p}F=0{,}278a_{max\,p}\alpha\varphi F\delta=\frac{0{,}278a_{max\,p}\alpha F}{(F+1)^n}\delta, \quad (7.76)$$

где $Q_{max\,p}$ — мгновенный максимальный расход дождевых вод в *м³/сек* заданной обеспеченности; q_p — элементарный модуль максимального стока в *м³/сек* с 1 *км²*; $a_{max\,p}$ — максимальная часовая интенсивность дождя в *мм/час*; $\varphi=\frac{1}{(F+1)^n}$ — коэффициент редукции, учитывающий убывание как средней интенсивности дождя с увеличением его продолжительности, так и максимального модуля стока с увеличением времени добегания или площади водосбора; n — показатель степени редукции модуля максимального стока по площади водосбора; α — расчетный коэффициент стока; F — площадь водосбора до створа сооружения в *км²*; δ — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды озерами и болотами; 0,278 — коэффициент перевода интенсивности осадков в *мм/час* в расход в *м³/сек* с 1 *км²* площади водосбора.

По формуле (7.76) определяются максимальные расходы воды дождевых паводков в 1%-ной обеспеченности, от которых можно перейти к максимумам других обеспеченностей с помощью переходного коэффициента $k_p = \frac{Q_{\max p}}{Q_{\max 1\%}}$, зависящего от расчетных значений C_v и C_s.

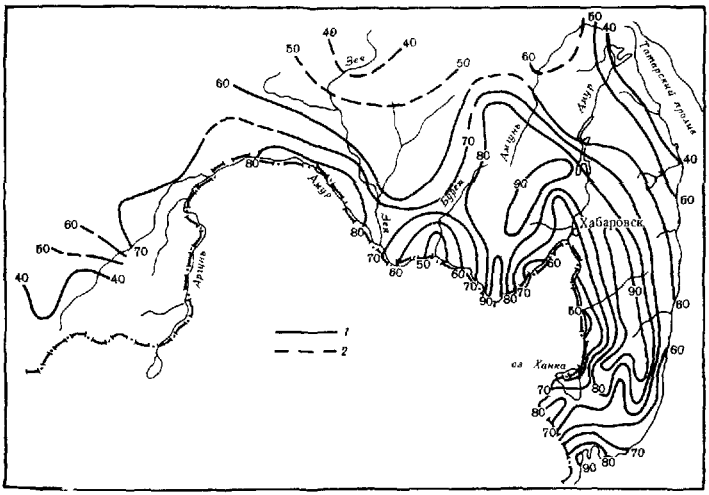


Рис. 7.16. Карта изолиний максимальной часовой интенсивности дождя 1%-ной обеспеченности ($a_{\max 1\%}$) в *мм/час*.

1 — изолинии максимальной интенсивности, *2* — изолинии ориентировочных значений максимальной интенсивности.

Параметр n определен по графическим зависимостям $\frac{q_{1\%}}{\delta} = f(F)$ четырех районов бассейна Амура, для которых значение n принято одинаковым и равным 0,40. При этом расчетная формула ЛГМИ принимает вид

$$Q_{\max 1\%} = \frac{0{,}278 a_{\max 1\%} \alpha F}{(F+1)^{0{,}40}} \delta. \qquad (7.77)$$

Расчетные параметры ее определяются так: F *км*^{2} — по топографическим картам крупного масштаба; $a_{\max 1\%}$ *мм/час* — максимальная часовая интенсивность дождя 1%-ной обеспеченности — по карте изолиний (рис. 7.16); коэффициент стока α — по карте зонального распределения α (рис. 7.17), коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды озерами и болотами,— по формуле вида (7.33)

$$\delta = 1 - 0{,}6 \lg (1 + f_{оз} + 0{,}20 f_б), \qquad (7.78)$$

где $f_{оз}$ и $f_б$ — имеют значения, принятые в формуле (7.33).

В виду того что на реках Дальнего Востока значительные паводки формируются многосуточными ливневыми дождями, регулирующая роль леса ничтожна и $f_л$ в формуле не учитывается.

Коэффициент вариации максимальных расходов воды дождевых паводков определяется по формуле

$$C_v = b - 0{,}251\lg(F+1), \qquad (7.79)$$

где F — площадь водосбора в $км^2$; b — географический параметр, определяемый по карте зонального распределения (см. рис. 7.17).

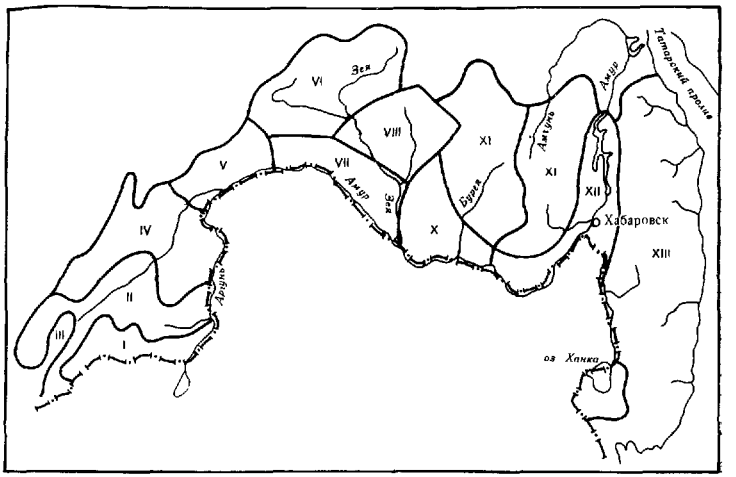


Рис. 7.17. Значения географического параметра b и коэффициента стока α по зонам.

№ зоны	I	II	III	IV	V	VI	VII
α	0,4	0,6	0,5	0,7	0,8	0,9	0,8
b	2,0	1,7	1,6	1,9	1,9	2,4	2,2

№ зоны	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
α	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	1,0	0,7
b	1,7	1,5	2,0	1,5	1,3	1,6	2,0

Коэффициент асимметрии C_s принимается равным $C_s = 4C_v$.

Формула (7.78) позволяет при расчетах максимальных расходов использовать метод гидрологической аналогии. Для этого по бассейну-аналогу с рядом наблюдений не менее 15—20 лет, позволяющим установить надежные значения статистических параметров, определяется максимальный расход заданной обеспеченности и по формуле (7.80) рассчитывается максимальный расход неизученной реки

$$Q_{\max p} = Q_{\max p\,а}\left(\frac{F}{F_а}\right)^{0{,}60}\frac{\delta}{\delta_а}, \qquad (7.80)$$

где все обозначения те же, что и в формуле (7.76), а индекс «а» означает, что данный параметр относится к бассейну-аналогу.

Пример 7.11. Определить максимальный расход воды дождевого паводка 1%-ной обеспеченности р. Олонгро у г. Могочи по формуле ЛГМИ (7.77).

Исходные данные: р. Олонгро является притоком р. Могочи, которая в свою очередь впадает в левобережный приток р. Амура — р. Амазар. Площадь водосбора реки у г. Могочи $F=78{,}5$ *км*^{2}, длина $L=20{,}2$ *км*, заболоченность бассейна $f_б=20\%$.

Сначала по формуле (7.78) вычисляем коэффициент снижения максимального расхода болотами

$$\delta = 1 - 0{,}6\,(1 + 0{,}2 \cdot 20) = 0{,}58.$$

Затем по картам (рис. 7.16 и 7.17) устанавливаем максимальную часовую интенсивность дождя 1%-ной обеспеченности $a_{\max 1\%}=65$ *мм* и коэффициент стока $\alpha=0{,}80$.

Подставив необходимые параметры в формулу (7.77), получим

$$Q_{\max 1\%} = \frac{0{,}278 \cdot 65 \cdot 0{,}8 \cdot 78{,}5 \cdot 0{,}58}{(78{,}5+1)^{0{,}40}} = 114 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Формула ДВ НИГМИ. В ее основе лежит формула предельной интенсивности стока

$$q_{\max p} = 0{,}278\bar{a}_{\tau p}\alpha, \tag{7.81}$$

где $\bar{a}_{\tau p}$ — наибольшая величина средней интенсивности дождя в *мм/час* за время добегания воды τ по бассейну от наиболее удаленной точки речной системы; α — коэффициент стока; индекс p означает обеспеченность в %, которая принимается в дальнейших расчетах равной 1%.

Значение $\bar{a}_\tau$ определяется по эмпирической формуле

$$\bar{a}_\tau = \frac{S_1}{T^{0{,}75}}, \tag{7.82}$$

где 0,75 — показатель степени редукции интенсивности дождя по продолжительности, принятый одинаковым для всей территории бассейна р. Амура; S_1 — предельная часовая интенсивность дождя в *мм/мин*; T — расчетная продолжительность дождя для водосбора площадью F, равна времени добегания τ, в часах.

Представив суточный максимум осадков, согласно формуле (7.82), как

$$H_c = \frac{S_1 \cdot 24}{24^{0{,}75}} = S_1 \cdot 24^{0{,}25}, \tag{7.83}$$

получим

$$S_1 = \frac{H_c}{24^{0{,}25}} = 0{,}452H_c. \tag{7.84}$$

Расчетная продолжительность дождя T или время добегания τ для водосбора площадью F принимается равной сдвигу во времени дат наступления максимальных осадков и стока, т. е. $T=\tau=t_c$.

Время сдвига t_c, зависящее от размера площади бассейна F и величины спрямленного уклона $I‰$, определяется по эмпирической формуле

$$t_c = 2{,}1 \frac{F^{0{,}40}}{I^{0{,}34}}. \qquad (7.85)$$

Подставив выражения (7.84) и (7.85) в формулу (7.82), получим

$$\bar{a}_\tau = \frac{0{,}452 H_c}{\left(\frac{2{,}1 F^{0{,}4}}{I^{0{,}34}}\right)^{0{,}75}} = \frac{0{,}258 H_c I^{0{,}25}}{F^{0{,}30}}. \qquad (7.86)$$

Подставив значение $\bar{a}_\tau$ в формулу предельной интенсивности (7.81), получим

$$q_{max} = \frac{0{,}278 \cdot 0{,}258 H_c I^{0{,}25} \alpha}{F^{0{,}30}} = \frac{0{,}07 H_c I^{0{,}25} \alpha}{F^{0{,}30}}. \qquad (7.87)$$

С учетом поправочного коэффициента на редукцию осадков по площади K_F и коэффициента δ, учитывающего снижение максимальных расходов болотами, расчетная формула ДВ НИГМИ имеет окончательный вид:

$$q_{max\ 1\%} = \frac{0{,}07 \alpha H_{c\ 1\%} I^{0{,}25} K_F \delta}{(F+1)^{0{,}30}} \qquad (7.88)$$

или

$$Q_{max\ 1\%} = \frac{0{,}07 \alpha H_{c\ 1\%} I^{0{,}25} K_F \delta}{(F+1)^{0{,}30}} F. \qquad (7.89)$$

Параметры расчетной формулы определяются по рекомендациям ДВ НИГМИ следующим образом: $H_{c\ 1\%}$ — по карте максимальных суточных осадков 1%-ной обеспеченности (рис. 7.18) или по таблицам для метеостанций; α — по карте изолиний (рис. 7.19); F и I — по топографическим картам крупного масштаба; K_F — по табл. 7.22; δ — по формуле (7.78).

Таблица 7.22

Изменение коэффициентов редукции осадков K_F по площади

Район	Площадь, тыс. км²								
	центр	1	5	10	20	50	100	200	500
Забайкалье . . .	1,0	0,99	0,93	0,87	0,80	0,68	0,59	0,45	—
Амурская область	1,0	0,99	0,96	0,93	0,88	0,77	0,64	0,49	0,36

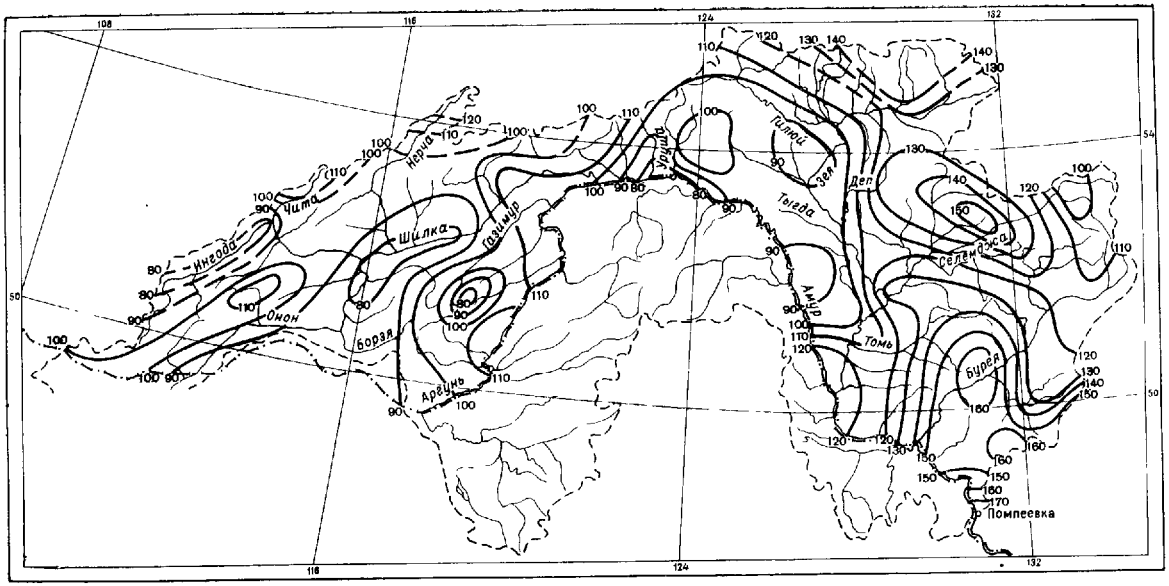


Рис. 7.18. Наибольшие суточные осадки 1%-ной обеспеченности ($H_{c1\%}$) в *мм* к формуле ДВ НИГМИ.

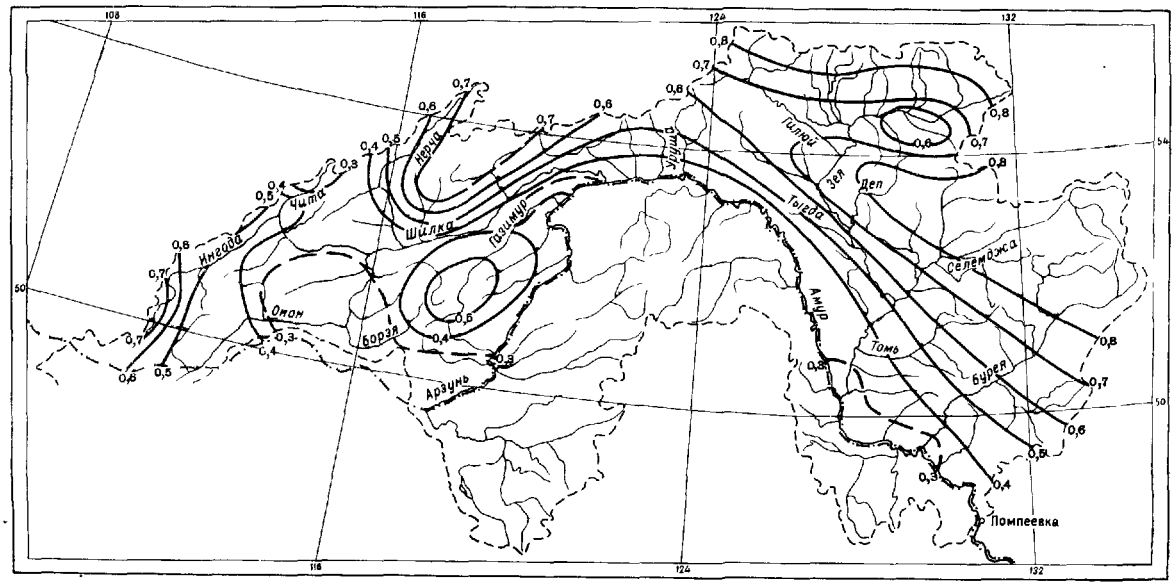


Рис 7.19. Сборный коэффициент стока α к формуле ДВ НИГМИ.

Переход от $Q_{\max 1\%}$ к расходам других обеспеченностей осуществляется с помощью одинаковых для всей территории переходных коэффициентов по табл. 7.23.

Таблица 7.23

Переходные коэффициенты от максимальных расходов (модулей) и слоев стока 1%-ной обеспеченности к расходам и слоям стока за паводок другой повторяемости

Обеспеченность, %	0,1	1	2	5	10	15
Коэффициент перехода для максимальных расходов воды . . .	1,45	1,00	0,88	0,74	0,63	0,45
Коэффициент перехода для расчетных объемов стока	1,49	1,00	0,88	0,73	0,61	0,44

Формула рекомендуется для расчетов максимальных расходов дождевых паводков неизученных рек с площадями водосборов не более 10 000 — 15 000 *км*^{2} в бассейне Верхнего и Среднего Амура.

Пример 7.12. Определить максимальные расходы воды дождевых паводков 0,1; 1 и 5%-ной обеспеченности по формуле ДВ НИГМИ (7.89) большой реки (Нерча у с. Кыкер) и малой реки (Мыльникова у ст. Ерофей Павлович) бассейна Верхнего Амура.

Исходные данные и расчетные параметры установим по справочнику «Ресурсы поверхностных вод СССР».

Река Нерча является левобережным притоком Шилки и имеет у с. Кыкер $F=13\,200$ *км*^{2}, $I=1‰$ и $f_б=6\%$.

Река Мыльникова — левобережный приток р. Урки, которая впадает слева в р. Амур. Площадь бассейна у ст. Ерофей Павлович $F=28$ *км*^{2}, $I=11‰$ и $f_б=7\%$.

Значения суточных осадков 1%-ной обеспеченности для бассейна р. Нерчи по карте (рис. 7.18) $H_{1\%}=106$ *мм*, по данным метеостанции Ерофей Павлович для р. Мыльникова $H_{1\%}=111$ *мм*.

Коэффициенты стока α по карте (рис. 7.19) соответственно равны 0,65 и 0,45.

Коэффициенты редукции осадков по площади, согласно табл. 7.22, для бассейна р. Нерчи $K_F=0{,}85$ и для малого водосбора р. Мыльникова $K_F=1{,}0$.

Коэффициенты δ, учитывающие снижение максимальных расходов болотами, по формуле (7.78) соответственно равны 0,80 и 0,77.

Установив таким образом необходимые параметры расчетной формулы, вычисляем максимальные расходы:

р. Нерча у с. Кыкер

$$Q_{1\%}=0{,}07\cdot 106\cdot 0{,}65\cdot 1{,}0\cdot 0{,}85\cdot 0{,}80\cdot 13\,200^{0{,}7}=2520\ м^3/сек,$$

р. Мыльникова у ст. Ерофей Павлович

$$Q_{1\%}=0{,}07\cdot 111\cdot 0{,}45\cdot 11^{0{,}25}\cdot 1{,}0\cdot 0{,}77\cdot 28^{0{,}7}=45{,}4\ м^3/сек.$$

Пользуясь табл. 7.23, получим максимальные расходы других обеспеченностей:

р. Нерча у с. Кыкер

$$Q_{0{,}1\%}=1{,}45\cdot 2520=3650\ м^3/сек,$$

$$Q_{5\%}=0{,}74\cdot 2520=1860\ м^3/сек,$$

р. Мыльникова у ст. Ерофей Павлович

$$Q_{0,1\%} = 1{,}45 \cdot 45{,}4 = 65{,}8 \ м^3/сек,$$

$$Q_{5\%} = 0{,}74 \cdot 45{,}4 = 33{,}6 \ м^3/сек.$$

Отметим, что по свежим следам катастрофически большого паводка, прошедшего на реках бассейна Верхнего Амура в июне 1958 г., экспедицией ЛГМИ установлен максимальный расход воды р. Мыльникова у ст. Ерофей Павлович равным 40,6 $м^3/сек$. Максимальные расходы паводка 1958 г. относятся к обеспеченности 1—2%.

Максимальный расход паводка 1958 г. р. Нерчи у с. Кыкер, по гидрометрическим данным, составляет 1760 $м^3/сек$, а максимум 1%-ной обеспеченности, полученный по шестилетнему ряду путем приведения параметров к многолетнему периоду, равен 2440 $м^3/сек$.

Максимальные расходы воды дождевых паводков 1%-ной обеспеченности, вычисленные по формуле ДВ НИГМИ, в обоих случаях достаточно близки к их значениям 1%-ной обеспеченности, установленным по гидрометрическим данным и следам высоких вод.

Метод ГГИ. В 1970 г. Государственный гидрологический институт представил проект Технических указаний по определению максимальных расходов воды дождевых паводков при отсутствии гидрометрических наблюдений, разработанный А. И. Чеботаревым и Б. И. Серпик.

Рекомендуемый Указаниями метод применяется для определения расчетных максимальных расходов дождевых паводков на реках с площадями водосборов не более 30 000 $км^2$ в лесной и лесостепной зонах, 10 000 $км^2$ — в степной, 1000 $км^2$ — в сухостепной и 200 $км^2$ — в полупустынной. На реках с площадями водосборов, превышающими эти пределы, при отсутствии гидрометрических наблюдений максимумы дождевых паводков определяются на основе полевых обследований.

В зависимости от размера водосборной площади рекомендуются два способа расчета:

1) по эмпирической редукционной формуле (7.90) для рек с площадью водосборов более 50 $км^2$ в лесной и лесостепной зонах и более 200 $км^2$ для рек степной зоны,

2) по формуле предельной интенсивности стока (7.98) для рек с площадью водосбора менее 50 $км^2$ в лесной и лесостепной зонах и менее 200 $км^2$ для рек в степной зоне.

Для обоснования параметров редукционной формулы использованы гидрометрические материалы по максимальному дождевому стоку 2500 створов с продолжительностью наблюдений более 15 лет, а также материалы 10 стоковых станций. Все эти данные сгруппированы по 15 физико-географическим районам Советского Союза.

Исходным параметром формулы принят модуль стока, соответствующий площади 200 $км^2$ ($q_{\max 200}$), который более устойчив, чем значение максимального модуля A при $F \to 1$ $км^2$. Большая устойчивость $q_{\max 200}$ обеспечивает надежную интерполяцию его значений между опорными пунктами наблюдений.

Построение системы изолиний этого параметра определило возможность повсеместного применения редукционной формулы, поскольку переход между отдельными зонами с различными коэффициентами редукции достаточно плавный.

Преимущество применения формулы предельной интенсивности для малых водосборов обусловлено тем, что закон редукции максимального модуля стока в зоне малых площадей исследован недостаточно и малообоснованное значение параметра C в формуле вида $q_{max} = \frac{A}{(F+C)^n}$ может привести к существенным ошибкам расчета в зоне экстраполяции.

В районах, по которым выполнены специальные исследования максимального дождевого стока, допускается применение региональных эмпирических формул при надлежащем их обосновании данными наблюдений и полевых обследований по следам прошедших паводков.

При расчетах дождевых максимумов необходимы характеристики рек и бассейнов, перечисленные в справочниках по водным ресурсам. Для малых водосборов, максимумы которых вычисляются по формуле предельной интенсивности, необходимо знать также средний уклон склоиов (уклон водосбора) $I_{ск}‰$ и *густоту речной и овражно-балочной сети* ρ *км/км*^{2}.

Эмпирическая формула имеет вид

$$Q_{max\,p} = q_{max\,p} F = q_{max\,200} \left(\frac{200}{F}\right)^n F \delta_1 \delta \lambda, \qquad (7.90)$$

где $Q_{max\,p}$ — расчетный мгновенный максимальный расход воды в *м*^{3}*/сек*; $q_{max\,p}$ — модуль расчетного максимального расхода воды в *м*^{3}*/сек* с 1 *км*^{2}; p — обеспеченность в %; F — площадь водосбора в *км*^{2}; $q_{max\,200}$ — модуль максимального расхода воды обеспеченностью 1%, приведенный к площади водосбора 200 *км*^{2}, определяемый по карте (приложение XXXVI); n — показатель степени редукции (уменьшения) модуля максимального расчетного расхода воды, определяемый по карте (приложение XXXVII); δ_1 — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды реки, зарегулированной проточными озерами; δ — коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода воды рек вследствие заболоченности (этот коэффициент не учитывается для условий Кольского п-ва, Карельской АССР и рек бассейнов Белого и Баренцева морей); λ — переходный коэффициент от обеспеченности 1% к другой обеспеченности, значения которого определяются по табл. 7.24.

Коэффициент δ_1 определяется по формуле (7.53).

Значение коэффициента c в формуле (7.53) принимается ориентировочно равным 0,2 для лесной и лесостепной зон и 0,4 для степной зоны.

Таблица 7.24

Значения переходных коэффициентов λ

№ района по карте (приложение XXXVIII)	Обеспеченность в %						
	0,1	0,3	1	2	5	10	25
I	1,30	1,17	1,00	0,90	0,75	0,62	0,45
II	1,45	1,25	1,00	0,87	0,69	0,55	0,36
III	1,54	1,32	1,00	0,85	0,64	0,48	0,28
IV	1,62	1,35	1,00	0,81	0,58	0,40	0,21
V	1,86	1,47	1,00	0,76	0,48	0,28	0,09

При использовании в расчетах относительной озерности $\left(f_{оз}=\frac{\Sigma S_i}{F}\cdot 100\right)$ величина c принимается примерно в 2 раза меньшей.

Коэффициент δ определяется по формуле

$$\delta = 1 - 0{,}8 \lg (1 + 0{,}1 f_б), \tag{7.91}$$

где $f_б$ — степень заболоченности бассейна в %.

Коэффициент редукции максимального модуля стока $\left(\frac{200}{F}\right)^n$ может определяться по графику (приложение XXXIX) в зависимости от площади водосбора F и показателя степени редукции n.

Если по рекам-аналогам имеются многолетние наблюдения над максимальными расходами дождевых паводков, то определение их для неисследованных рек производится методом аналогии по формулам:

$$Q_{\max p} = q_{\max p\,а}\left(\frac{F_а}{F}\right)^n \frac{\delta}{\delta_а} F, \tag{7.92}$$

$$Q_{\max p} = q_{\max p\,а}\left(\frac{\tau_а^*}{\tau^*}\right)^{n_1} F, \tag{7.93}$$

где $q_{\max p\,а}$ — максимальный модуль стока расчетной обеспеченности p% реки-аналога; $\tau_а^*$ — время добегания пика паводка до расчетного створа реки-аналога при модуле стока $q_{\max p\,а}$, равном единице; τ^* — то же для реки, по которой рассчитывается максимальный расход воды.

Время добегания определяется по формулам:

$$\tau_а^* = \frac{1000 L_а}{m_а I_а^{1/3} F_а^{1/4}} \text{ мин.}, \tag{7.94}$$

$$\tau^* = \frac{1000 L}{m I^{1/3} F^{1/4}} \text{ мин.}, \tag{7.95}$$

где F, L, I — площадь водосбора, длина и уклон реки, а — индекс, обозначающий, что данная характеристика относится к реке-аналогу; m — коэффициент, зависящий от шероховатости русла и поймы; определяется по табл. 7.25; n и n_1 — показатели степени редукции определяются по приложению XXXVII.

Таблица 7.25

Значения коэффициента m в формулах (7.94) и (7.95)

Категория	Характеристика русла и поймы в среднем по всей длине реки — от потока до замыкающего створа	m м/мин
1	Сравнительно чистые русла постоянных равнинных водотоков. Русла периодических водотоков (сухих логов) в относительно благоприятных условиях	11
2	Русла больших и средних рек значительно засоренные, извилистые и частично заросшие, каменистые, с неспокойным течением. Периодические водотоки, несущие во время паводка заметное количество наносов, с крупногалечным и покрытым растительностью ложем	9,0
3	Галечно-валунные русла горного типа, с неправильной поверхностью водного зеркала. Русла периодических водотоков, сильно засоренные и извилистые	7

Формула (7.92) или (7.93) применяется в зависимости от формы водосборов и уклонов сопоставляемых рек, которые сравниваются по характеристикам ΔL и ΔI, определяемым по следующим формулам:

$$\Delta L = \frac{L}{F^{0,56}}, \qquad (7.96)$$

$$\Delta I = IF^{0,50}. \qquad (7.97)$$

При $\Delta L_a \approx \Delta L$ и $\Delta I_a \approx \Delta I$ рекомендуется формула (7.92), при ΔL_a в 1,5—2,0 раза больше или меньше ΔL и ΔI_a в 2—3 раза больше или меньше ΔI — формула (7.93).

Произведение $v^* = mI^{1/3}F^{1/4}$ можно вычислить по номограмме (приложение XL), составленной при $m = 9$ *м/мин*. При других значениях m в величину произведения следует ввести коэффициент, равный отношению $m/9$.

Выбор рек-аналогов производится в соответствии с рекомендациями, *изложенными* ранее.

Формула предельной интенсивности, по которой определяются максимальные расходы дождевых паводков с малых водосборов,

имеет следующее выражение:

$$Q_{\max p} = 16{,}67\delta_1 H_p \overline{\psi}(\tau_б)\alpha F\lambda', \qquad (7.98)$$

где $Q_{\max p}$, F и δ_1 — имеют те же значения, что и в формуле (7.90); H_p — суточный слой осадков обеспеченностью 1%, определяется по приложению XLI; $\overline{\psi}(\tau_б)$ — средняя ордината кривой редукции интенсивности осадков за время бассейнового добегания стока $\tau_б$; α — коэффициент стока определяется по табл. 7.26

Таблица 7.26

Коэффициенты паводочного стока α

Категория почвы	Наименование почвы	$H_{1\%}$ *мм*	Площадь водосбора, *км*²				
			<0,10	0,1—1,0	2,0—10	10—100	>100
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Асфальт, скала без трещин, бетон		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2	Жирноглинистые почвы, такыры и такыровые почвы	⩽ 80	0,80	0,70	0,65	0,65	0,60
		81—150	0,90	0,85	0,80	0,80	0,80
		151—200	0,95	0,90	0,90	0,90	0,90
		> 200	0,95	0,95	0,95	0,90	0,90
3	Суглинки, подзолы, подзолистые и серые лесные суглинки, сероземы тяжелосуглинистые, тундровые и болотные почвы	⩽ 80	0,70	0,60	0,55	0,50	0,45
		81—100	0,80	0,75	0,70	0,65	0,65
		101—150	0,85	0,80	0,75	0,65	0,65
		151—200	0,85	0,85	0,80	0,70	0,70
		> 200	0,90	0,90	0,80	0,75	0,75
4	Черноземы обычный и южный, светлокаштановые почвы, лёсс, карбонатные почвы, темно-каштановые почвы	⩽ 80	0,55	0,45	0,40	0,35	0,30
		81—150	0,65	0,55	0,50	0,45	0,40
		151—200	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55
		> 200	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
5	Супеси, бурые и серо-бурые пустынно-степные почвы, сероземы супесчаные и песчаные	⩽ 80	0,35	0,28	0,20	0,20	0,15
		81—150	0,45	0,35	0,25	0,25	0,20
		151—200	0,55	0,45	0,40	0,35	0,30
		> 200	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
6	Песчаные, гравелистые, рыхлые каменистые почвы		0,25	0,20	0,15	0,10	0,10

Относительные величины максимального модуля стока $\frac{q_{1\%}}{\varphi H_{1\%}}$ и продолжительности скло

Типы кривых редукции осадков	$\tau_{ск}$						
		1	5	10	20	30	40
2, 3, 4, 5, 6, 7, 9,	10	0,48	0,35	0,23	0,14	0,097	0,073
11, 20, 22, 23, 24,	30	0,27	0,21	0,16	0,11	0,080	0,063
25, 26, 28, 29	60	0,15	0,13	0,11	0,085	0,065	0,052
	100	0,11	0,096	0,085	0,066	0,054	0,044
	150	0,074	0,066	0,060	0,049	0,043	0,038
1, 8, 13, 14, 18, 27	10	0,32	0,22	0,16	0,097	0,070	0,055
	30	0,18	0,14	0,11	0,078	0,060	0,048
	60	0,11	0,095	0,082	0,063	0,050	0,042
	100	0,075	0,066	0,062	0,052	0,045	0,038
	150	0,060	0,054	0,049	0,042	0,037	0,033
10, 19, 21, 30	10	0,20	0,16	0,11	0,074	0,053	0,044
	30	0,12	0,10	0,084	0,065	0,053	0,044
	60	0,083	0,075	0,066	0,054	0,046	0,040
	100	0,064	0,060	0,055	0,046	0,040	0,034
	150	0,050	0,047	0,044	0,039	0,035	0,032
12, 15, 17	10	0,11	0,10	0,075	0,052	0,041	0,034
	30	0,095	0,074	0,060	0,045	0,037	0,031
	60	0,060	0,054	0,047	0,040	0,035	0,030
	100	0,048	0,043	0,040	0,034	0,030	0,028
	150	0,037	0,032	0,031	0,029	0,027	0,025
16	10	0,077	0,056	0,048	0,038	0,033	0,029
	30	0,060	0,049	0,044	0,036	0,032	0,028
	60	0,044	0,040	0,037	0,032	0,029	0,027
	100	0,038	0,035	0,033	0,030	0,027	0,025
	150	0,033	0,030	0,029	0,026	0,024	0,023

Таблица 7 27

при различных значениях гидроморфометрического коэффициента $\Phi_р$ нового добегания $\tau_{ск}$

$$\Phi_р = \frac{1000L}{ml^{1/3}F^{1/4}(\varphi H_{1\%})^{1/4}}$$

50	60	70	80	90	100	150	200	250	300
0,058	0,047	0,040	0,031	0,030	0,026	0,016	0,011	0,0085	0,0070
0,052	0,043	0,038	0,032	0,028	0,025	0,016	0,011	0,0085	0,0070
0,044	0 038	0,034	0,030	0,027	0,024	0,015	0,011	0,0085	0,0070
0,038	0,033	0,030	0,026	0,024	0,022	0,014	0,011	0,0085	0,0070
0,034	0,030	0,027	0,024	0,022	0,020	0,014	0,011	0,0085	0,0070
0,044	0,037	0,032	0,028	0,025	0,022	0,014	0,010	0,0080	0,0070
0,040	0,035	0,030	0,027	0,024	0,022	0,014	0,010	0,0080	0,0070
0,035	0,031	0,028	0,025	0,022	0,021	0,014	0,010	0,0080	0,0070
0,032	0,029	0,026	0,023	0,021	0,020	0,013	0,010	0,0080	0,0070
0,030	0,026	0,024	0,022	0,020	0,019	0,013	0,010	0,0080	0,0070
0,037	0,032	0,028	0,025	0,023	0,021	0,015	0,011	0,0090	0,0070
0,037	0,032	0,028	0,025	0,023	0,021	0,015	0,011	0,0090	0,0070
0,035	0,032	0,028	0,024	0,022	0,021	0,015	0,011	0,0090	0,0070
0,031	0,028	0,025	0,023	0,021	0,020	0,015	0,011	0,0090	0,0070
0,029	0,027	0,025	0,023	0,021	0,020	0,015	0,011	0,0090	0,0070
0,029	0,026	0,023	0,021	0,019	0,017	0,013	0,011	0,0090	0,0070
0,027	0,024	0,022	0,020	0,019	0,017	0,013	0,011	0,0090	0,0070
0,027	0,024	0,022	0,020	0,019	0,017	0,013	0,011	0,0090	0,0070
0,025	0,023	0,021	0,020	0,019	0,017	0,013	0,011	0,0090	0,0070
0,024	0,022	0,021	0,020	0,019	0,017	0,013	0,011	0,0090	0,0070
0,026	0,024	0,023	0,021	0,020	0,018	0,014	0,011	0,0090	0,0070
0,026	0,024	0,023	0,021	0,019	0,018	0,014	0,011	0,0090	0,0070
0,025	0,023	0,022	0,020	0,019	0,017	0,014	0,011	0,0090	0,0070
0,023	0,022	0,021	0,018	0,018	0,017	0,013	0,011	0,0090	0,0070
0,021	0,020	0,019	0,018	0,017	0,016	0,013	0,011	0,0090	0,0070

Таблица 7.28

Продолжительность склонового добегания $\tau_{ск}$ и относительные величины максимального модуля притока со склонов $\frac{q_0}{\varphi H_{1\%}}$ при разных значениях гидроморфометрического коэффициента $\Phi_{ск}$

Типы кривых редукции осадков		$\Phi_{ск} = \frac{l^{1/2}}{m_1 I_{ск}^{1/4} (\varphi H_{1\%})^{1/2}}$														
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15
2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29	$\tau_{ск}$	2,2	5,0	8,2	12	16	21	33	46	62	77	97	120	140	190	280
	$\frac{q_0}{\varphi H_{1\%}}$	0,85	0,65	0,52	0,44	0,38	0,32	0,25	0,19	0,15	0,13	0,11	0,090	0,080	0,062	0,046
1, 8, 13, 14, 18, 27	$\tau_{ск}$	2,9	6,5	10	16	22	29	43	60	80	97	120	140	170	230	320
	$\frac{q_0}{\varphi H_{1\%}}$	0,52	0,38	0,31	0,26	0,22	0,18	0,14	0,11	0,090	0,078	0,067	0,060	0,052	0,044	0,034
10, 19, 21, 30	$\tau_{ск}$	3,3	7,8	14	20	28	36	54	75	98	120	140	170	200	260	360
	$\frac{q_0}{\varphi H_{1\%}}$	0,37	0,26	0,20	0,16	0,14	0,12	0,092	0,077	0,067	0,060	0,054	0,049	0,044	0,038	0,031
12, 15, 17	$\tau_{ск}$	4,4	11	18	26	35	44	64	87	110	135	160	190	220	290	390
	$\frac{q_0}{\varphi H_{1\%}}$	0,2	0,14	0,12	0,095	0,082	0,072	0,60	0,050	0,045	0,041	0,037	0,034	0,031	0,028	0,024
16	$\tau_{ск}$	6,7	14	24	34	43	55	77	100	130	140	180	220	250	310	420
	$\frac{q_0}{\varphi H_{1\%}}$	0,095	0,070	0,060	0,054	0,050	0,046	0,040	0,038	0,034	0,032	0,030	0,029	0,027	0,025	0,022

в зависимости от характера почво-грунтов водосбора, слоя суточных осадков H_p и величины площади водосбора F; λ' — переходный коэффициент от обеспеченности 1% к другой обеспеченности, значение которого определяется по таблице (см. табл. 30).

Расчеты по формуле (7.98) производятся с помощью вспомогательной табл. 7.27, в которой приведены значения максимального модуля стока, выраженные в долях от величины произведения $\alpha H_{1\%}$ в зависимости от гидроморфометрической характеристики русла $\Phi_р$, склонового времени добегания $\tau_{ск}$ и типов кривых редукции осадков.

Гидроморфометрическая характеристика русла реки определяется по формуле

$$\Phi_р = \frac{1000L}{mI^{1/3}F^{1/4}(\alpha H_{1\%})^{1/4}}. \qquad (7.99)$$

Склоновое время добегания устанавливается по табл. 7.28 в зависимости от гидроморфометрической характеристики склонов водосбора и типа кривых редукции осадков.

Гидроморфометрическая характеристика склонов определяется по формуле

$$\Phi_{ск} = \frac{l^{1/2}}{m_1 I_{ск}^{1/4}(\alpha H_{1\%})^{1/2}}, \qquad (7.100)$$

где l — длина склона, определяемая по формуле

$$l = \frac{1000}{1{,}8\rho}\ м; \qquad (7.101)$$

m_1 — коэффициент шероховатости склонов, устанавливаемый по табл. 7.29.

Таблица 7.29

Значения коэффициентов m_1 в формуле (7.100)

Характеристика поверхности склонов	Травяной покров		
	редкий или отсутствует	обычный	густой
Гладкие поверхности (асфальт, бетон) . .	0,50		
Укатанная спланированная грунтовая поверхность, такыровидные равнины . . .	0,40	0,30	0,25
Поверхность, хорошо обработанная вспашкой и боронованием, невспаханная, без кочек, булыжная мостовая, поверхность в населенных пунктах с застройкой менее 20%	0,30	0,25	0,20
Грубо обработанная вспашкой поверхность, таежные завалы, кочковатая, а также поверхность в населенных пунктах с застройкой более 20%	0,20	0,15	0,10

Для водосборов площадью более 10 $км^2$ продолжительность склонового добегания принимается приближенно в следующих пределах:

	$\tau_{ск}$ мин.
1. Лесная зона	
заболоченные бассейны	150
незаболоченные бассейны . .	60—100
2. Лесостепная зона	40—60
3. Степная зона	20—40
4 Пустынная зона (бассейны с такыровидной поверхностью) . . .	10—15

При относительно пересеченном рельефе или небольшой облесенности склонов принимается нижний предел, при плоских или заросших склонах — верхний.

Максимальный модуль стока со склонов (модуль притока — q_0) определяется по табл. 7.28 в зависимости от значения $\Phi_{ск}$ и типа кривой редукции осадков.

Районы распространения типовых кривых редукции приведены в приложении XLII.

Таблица 7.30

Таблица переходных коэффициентов λ'

№ района по карте (приложение XXXVIII)	Площадь водосбора, $км^2$	Обеспеченность, %					
		0,3	1	2	5	10	25
I	0,1—100	1,17	1,0	0,90	0,75	0,62	0,45
II	0,1—100	1,25	1,0	0,87	0,69	0,55	0,36
III	50—100	1,35	1,0	0,85	0,64	0,47	0,25
	10—50	1,40	1,0	0,82	0,60	0,42	0,22
	1—10	1,45	1,0	0,77	0,50	0,34	0,15
	<1	1,50	1,0	0,74	0,46	0,30	0,12
IV	50—100	1,50	1,0	0,77	0,50	0,34	0,15
	10—50	1,60	1,0	0,73	0,44	0,26	0,10
	1—10	1,65	1,0	0,72	0,40	0,23	0,08
	<1	1,65	1,0	0,72	0,40	0,20	0,08
V	1—100	(2,0)	(1,0)	(0,70)	(0,30)	(0,20)	(0,05)
	<1	(1,6)	(1,0)	(0,73)	(0,45)	(0,27)	(0,10)

Если на малых реках-аналогах имеются многолетние наблюдения над максимальными расходами воды дождевых паводков, то расчет модуля максимального стока неизученной реки может быть произведен методом аналогии по формуле

$$q_{\max p} = 16{,}67\,(\alpha H_p)_a\,\overline{\Psi}(\tau_б). \qquad (7.102)$$

Вычисления величин $(\alpha H_p)_a$ для реки-аналога ведутся по схеме

$$(\alpha H_p)_a = \frac{q_{\max p\,a}}{16{,}67\overline{\Psi}(\tau_{бa})}. \qquad (7.103)$$

В свою очередь

$$\tau_{б,\,а} = 1{,}2\tau_{р\,а}^{1{,}1} + \tau_{ск.\,а} \text{ мин.}, \tag{7.104}$$

где $\tau_{р\,а}$ — русловое время добегания, равное

$$\tau_{р\,а} = \frac{1000 L_а}{m_а I_а^{1/3} F_а^{1/4} q_{max\,р\,а}^{1/4}}, \tag{7.105}$$

где $\tau_{ск.\,а}$ — склоновое время добегания, определяемое по табл. 7.28 в зависимости от $\Phi_{ск.\,а}$.

По величине бассейнового времени добегания на реке-аналоге $\tau_{б.\,а}$ определяется ордината кривой редукции осадков $16{,}67\overline{\psi}(\tau_{б.\,а})$ по табл. 7.31.

Имея значения $16{,}67\overline{\psi}(\tau_{б.\,а})$ и величину $q_{max\,р\,а}$, по формуле (7.103) вычисляем $\alpha H_{р\,а}$. Дальнейший расчет по формуле (7.102) ведется аналогично вычислениям применительно к формуле (7.98).

Слой паводочного стока 1%-ной обеспеченности для рек с площадями водосборов более 50 *км*^{2} определяется по приложению XLIII.

Для рек степных районов в величину слоя стока, снятую с карты, вводятся поправочные коэффициенты в зависимости от размера водосборной площади по табл. 7.32.

Для малых водотоков лесной зоны с площадями водосборов менее 50 *км*^{2}, лесостепной и степной зон с площадями водосбора $1 < F < 50$ *км*^{2} слой дождевого паводочного стока определяется как произведение суточной величины осадков 1%-ной обеспеченности $H_{1\%}$, объемного коэффициента стока α и коэффициента λ'

$$h_р = H_{1\%}\alpha\lambda'. \tag{7.106}$$

Для водотоков степной и лесостепной зон с площадями водосборов менее 1,0 *км*^{2} стокообразующие осадки принимаются за 2,5-часовой интервал времени ($\tau = 150$ мин.)

$$h_р = \psi(\tau) H_{1\%}\alpha\lambda'. \tag{7.107}$$

Объемный коэффициент стока α устанавливается по табл. 7.26 (графа 7), переходный коэффициент λ' — по табл. 7.30, ордината кривой редукции осадков $\psi(\tau)$, соответствующая времени $\tau = 150$ мин., — по табл. 7.31.

Ниже приводятся примеры расчета максимальных расходов воды дождевых паводков большого и малого водотоков, иллюстрирующие применение эмпирической редукционной формулы (7.90) и формулы предельной интенсивности (7.98).

Ординаты осредненных

$$\left[\psi(\tau)=\frac{H_\tau}{H_p}=f(\tau),\right.$$

Тип кривой (по карте приложения XLII)	Область преимущественного распространения кривой редукции осадков		5	10
1	Побережье Белого и Баренцева морей	$\psi(\tau)$	0,14	0,21
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,47	0,35
2	Север ЕТС и Западная Сибирь	$\psi(\tau)$	0,18	0,28
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,60	0,47
3	Равнины области запада и центра ЕТС	$\psi(\tau)$	0,20	0,30
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,67	0,50
3а	Равнинные области Украины	$\psi(\tau)$	0,18	0,27
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,60	0,45
4	Возвышенности ЕТС; западный склон Урала	$\psi(\tau)$	0,20	0,32
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,67	0,53
4а	Восток Украины, низовья Волги и Дона; Южный Крым	$\psi(\tau)$	0,17	0,28
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,57	0,47
5	Наветренные склоны возвышенностей ЕТС и Сев. Предкавказье	$\psi(\tau)$	*0,20*	*0,32*
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,67	0,53
5а	Ставропольская возвышенность, северные предгорья Большого Кавказа, северный склон Большого Кавказа до высоты *1500 м*	$\psi(\tau)$	0,16	0,27
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,53	0,45
6	Южная часть Западной Сибири, средн. теч. р. Или; р-н оз. Алэ-Куль	$\psi(\tau)$	0,20	0,31
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,67	0,52
7	Центральный и Сев.-Вост. Казахстан, предгорья Алтая	$\psi(\tau)$	0,26	0,39
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,87	0,65
8	Северный склон Заилийского Алатау	$\psi(\tau)$	0,11	0,17
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,37	0,28
9	Джунгарский Алатау; Алтай; Кузнецкий Алатау	$\psi(\tau)$	0,20	0,30
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,67	0,50
10	Северный склон Западного Саяна	$\psi(\tau)$	0,12	0,17
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,40	0,28
11	Средняя Сибирь	$\psi(\tau)$	0,22	0,34
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	*0,73*	*0,57*
12	Хребет Хамар-Дабан	$\psi(\tau)$	0,06	0,09
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,20	0,15
13	Восточная Сибирь	$\psi(\tau)$	0,15	0,23
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,50	0,38
13а	Бассейн рек Шилки и Аргуни, долина Среднего Амура; западный склон хр. Сихотэ-Алинь	$\psi(\tau)$	0,16	0,24
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,53	0,40
14	Бассейн среднего течения р. Колымы; бассейны рек, впадающих в Охотское море; Северная часть *Нижнеамурской* низмен.	$\psi(\tau)$	0,14	0,21
		$16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)$	0,47	0,35

кривых редукции осадков

$$\overline{\psi}(\tau) = \frac{\psi(\tau)}{\tau}\Big]$$

Продолжительность интервала времени τ мин.

20	40	60	90	150	300	720	1440	2880
0,28	0,36	0,42	0,47	0,55	0,67	0,86	1,05	1,25
0,23	0,15	0,12	0,087	0,061	0,037	0,020	0,012	0,0072
0,37	0,45	0,51	0,56	0,63	0,75	0,91	1,07	1,30
0,31	0,19	0,14	0,10	0,07	0,042	0,021	0,012	0,0075
0,41	0,51	0,56	0,61	0,65	0,78	0,92	1,06	1,25
0,34	0,21	0,16	0,11	0,072	0,043	0,021	0,012	0,0072
0,38	0,51	0,57	0,64	0,70	0,80	0,93	1,06	1,20
0,32	0,21	0,16	0,12	0,078	0,044	0,022	0,012	0,0070
0,44	0,56	0,61	0,67	0,73	0,82	0,93	1,06	1,20
0,37	0,23	0,17	0,12	0,081	0,046	0,022	0,012	0,0070
0,42	0,55	0,61	0,67	0,74	0,84	0,95	1,05	1,20
0,35	0,23	0,17	0,12	0,082	0,047	0,022	0,012	0,0070
0,48	0,61	0,68	0,74	0,79	0,86	0,96	1,06	1,25
0,40	0,25	0,19	0,14	0,088	0,048	0,022	0,012	0,0072
0,44	0,65	0,75	0,84	0,88	0,93	0,98	1,05	1,15
0,37	0,27	0,21	0,16	0,098	0,052	0,023	0,012	0,0067
0,42	0,52	0,58	0,63	0,70	0,80	0,94	1,07	1,25
0,35	0,22	0,16	0,12	0,078	0,044	0,022	0,012	0,0072
0,50	0,60	0,66	0,70	0,76	0,86	0,98	1,06	1,22
0,42	0,25	0,18	0,13	0,084	0,048	0,023	0,012	0,0071
0,25	0,33	0,39	0,45	0,53	0,66	0,86	1,06	1,25
0,21	0,14	0,11	0,083	0,059	0,037	0,020	0,012	0,0072
0,40	0,46	0,50	0,55	0,60	0,70	0,87	1,07	1,30
0,33	0,19	0,14	0,10	0,067	0,039	0,020	0,012	0,0075
0,22	0,28	0,32	0,38	0,43	0,58	0,78	1,00	1,25
0,18	0,12	0,089	0,070	0,048	0,032	0,018	0,012	0,0072
0,47	0,57	0,62	0,67	0,73	0,81	0,94	1,07	1,25
0,39	0,24	0,17	0,12	0,081	0,045	0,022	0,012	0,0072
0,12	0,17	0,21	0,25	0,32	0,45	0,71	1,00	1,33
0,10	0,071	0,058	0,046	0,036	0,025	0,016	0,012	0,0077
0,32	0,40	0,45	0,50	0,58	0,69	0,87	1,06	1,29
0,27	0,17	0,13	0,093	0,064	0,038	0,020	0,012	0,0075
0,34	0,45	0,52	0,57	0,64	0,75	0,92	1,07	1,27
0,28	0,19	0,15	0,11	0,071	0,042	0,021	0,012	0,0074
0,28	0,35	0,39	0,45	0,53	0,66	0,87	1,07	1,30
0,23	0,15	0,11	0,083	0,059	0,037	0,020	0,012	0,0075

Тип кривой (по карте приложения XLII)	Область преимущественного распространения кривой редукции осадков		5	10
15 *	Побережье Охотского моря; бассейны рек, впадающих в Берингово море; центральная и западная часть п-ова Камчатки	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,06 0,20	0,10 0,17
16	Восточное побережье п-ова Камчатки южнее 56° с. ш.	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,03 0,10	0,06 0,10
17 *	Побережье Татарского пролива	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,07 0,23	0,09 0,15
18	Район оз. Ханка	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,11 0,37	0,18 0,30
19	Бассейны рек, впадающих в Японское море; остров Сахалин; Курильские острова	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,08 0,27	0,12 0,20
20 *	Юг Казахстана; равнинная часть Средней Азии и склоны гор до высоты 1500 *м*; басс. оз. Иссык-Куль до высоты 2000—2500 *м*	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,16 0,53	0,24 0,40
21	Склоны гор Средней Азии в высотном поясе 1500—3000 *м*	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,10 0,33	0,14 0,23
22	Юго-Западная Туркмения	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,15 0,50	0,25 0,42
23	Черноморское побережье Кавказа и западный склон Б. Кавказа до ст. Сухуми	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,15 0,50	0,24 0,40
24	Побережье Каспийского моря и прилегающая к нему равнинная территория от г. Махачкала до г. Баку	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,15 0,50	0,22 0,37
25 *	Восточный склон Большого Кавказа; Кура-Араксинская низменность до высоты 500 *м*	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,22 0,73	0,36 0,60
26 *	Северный склон Большого Кавказа от высоты 1500 *м*; внутренняя часть Дагестанской АССР; южный склон Б. Кавказа (в пределах басс. р. Алазани) от высоты 500 *м*	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0.16 0,53	0,25 0,42
27	Побережье Черного моря от ст. Сухуми до гос. границы; Колхидская низменность; среднегорная зона черноморского склона Б. и М. Кавказа до высоты 2000 *м*	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,10 0,33	0,16 0,27
28	Бассейн р. Куры до Мингечаурского в-ща (без басс р. Алазани); вост. часть Малого Кавказа; Талышский хребет	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,18 0,60	0,27 0,45
29	Северо-западная и центральная часть Армении	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,22 0,73	0,35 0,58
30	Ленкоранская низменность	$\frac{\psi(\tau)}{16{,}67\,\overline{\psi}(\tau)}$	0,08 0,27	0,12 0,20

Примечание. Знак * у номера кривой редукции осадков означает, что

Продолжительность интервала времени τ мин.

20	40	60	90	150	300	720	1440	2880
0,15	0,22	0,26	0,32	0,41	0,57	0,83	1,10	1,40
0,13	0,092	0,072	0,059	0,046	0,032	0,019	0,013	0,0081
0,09	0,13	0,17	0,22	0,30	0,45	0,80	1,08	1,22
0,075	0,054	0,047	0,040	0,036	0,025	0,019	0,013	0,0071
0,13	(0,18)	(0,21)	(0,26)	(0,34)	(0,47)	0,72	1,01	1,33
0,11	0,077	0,058	0,048	0,037	0,026	0,017	0,012	0,0077
0,25	0,33	0,38	0,44	0,53	0,66	0,86	1,05	1,25
0,21	0,14	0,11	0,082	0,059	0,037	0,020	0,012	0,0072
0,18	0,26	0,32	0,39	0,50	0,69	0,95	1,15	1,30
0,15	0,11	0,089	0,072	0,056	0,038	0,022	0,013	0,0075
0,35	0,43	0,47	0,53	0,60	0,72	0,88	1,04	1,23
0,29	0,18	0,13	0,098	0,067	0,040	0,020	0,012	0,0071
0,19	0,26	0,31	0,37	0,46	0,60	0,82	1,05	1,30
0,16	0,11	0,086	0,069	0,051	0,033	0,019	0,012	0,0075
0,39	0,53	0,60	0,67	0,75	0,85	0,98	1,08	1,16
0,33	0,22	0,17	0,12	0,083	0,047	0,023	0,013	0,0067
0,35	0,48	0,55	0,62	0,70	0,82	0,98	1,18	1,45
0,29	0,20	0,15	0,11	0,078	0,046	0,023	0,014	0,0084
0,31	0,43	0,51	0,58	0,68	0,80	0,94	1,05	1,20
0,26	0,18	0,14	0,11	0,076	0,044	0,022	0,012	0,0070
0,50	0,60	0,65	0,70	0,77	0,85	0,94	1,05	1,30
0,42	0,25	0,18	0,13	0,086	0,047	0,022	0,012	0,0075
0,35	0,45	0,50	0,55	0,61	0,72	0,88	1,05	1,30
0,29	0,19	0,14	0,10	0,068	0,040	0,020	0,012	0,0075
0,24	0,34	0,40	0,47	0,56	0,70	0,91	1,10	1,30
0,20	0,14	0,11	0,087	0,062	0,039	0,021	0,013	0,0075
0,38	0,50	0,56	0,62	0,70	0,80	0,90	1,05	1,20
0,32	0,21	0,16	0,11	0,078	0,044	0,021	0,012	0,007
0,48	0,58	0,63	0,66	0,71	0,80	0,90	1,05	1,30
0,40	0,24	0,18	0,12	0,08	0,044	0,021	0,012	0,0075
0,18	0,26	0,32	0,39	0,50	0,62	0,82	1,03	1,25
0,15	0,11	0,089	0,072	0,056	0,034	0,019	0,012	0,0072

она приближенная.

Таблица 7.32

Поправочные коэффициенты к величине слоя стока за паводок, приведенной на карте (приложение XLIII)

Бассейны рек	Поправочные коэффициенты при площади водосбора, $км^2$					
	50	200	500	1 000	3 000	10 000
1. Правые притоки р. Припяти	1,0	1,0	0,85	0,80	0,65	0,55
2. Притоки р. Днепра ниже устья р. Десны и притоки р. Десны от устья р. Сейма (включительно)	1,0	1,0	0,65	0,48	0,28	0,16
3. Реки бассейна р. Южного Буга	1,0	1,0	0,83	0,72	0,57	0,46
4. Левобережные притоки р. Днестра	1,0	1,0	1,0	0,80	0,54	—
5. Реки бассейнов р. Северского Донца и Азовского моря (между Днепром и Доном)	1,0	1,0	0,72	0,55	0,38	0,25
6. Реки Крыма	1,5	1,0	0,75	0,72	—	—

Пример 7.13. Определить максимальные расходы воды дождевых паводков 1 и 5%-ной обеспеченности р. Большая Чичатка, притока р. Амазара бассейна р. Амура в створе ст. Амазар.

Исходные характеристики: $F=2830$ $км^2$, расстояние от наиболее удаленной части бассейна $L=135$ $км$, средневзвешенный уклон реки $I=4{,}3‰$, $f_б=6.0\%$, $f_л=75\%$.

Расчет выполняется по эмпирической редукционной формуле (7.90). Параметры ее для данного бассейна имеют следующие значения: модуль максимального расхода воды 1%-ной обеспеченности, установленный для центра бассейна по карте изолиний (приложение XXXVI) $q_{max\ 200}=1{,}75$ $л/сек$ с 1 $км^2$; показатель степени редукции модуля максимального расхода по площади, принятый по карте (приложение XXXVII) $n=0{,}35$; коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода вследствие заболоченности бассейна, вычисленный по формуле (7.91),

$$\delta = 1 - 0{,}8 \lg (1 + 0.1 \cdot 6) = 0{,}84.$$

Подставляя установленные параметры в расчетную формулу (7.90), получим максимальный расход воды 1%-ной обеспеченности

$$Q_{max\ 1\%} = 1{,}75 \left(\frac{200}{2830}\right)^{0{,}35} \cdot 2830 \cdot 0{,}84 = 1680\ м^3/сек.$$

Приняв по табл. 7.21 переходный коэффициент $\lambda=0{,}69$, получим

$$Q_{max\ 5\%} = 1680 \cdot 0{,}69 = 1160\ м^3/сек.$$

Кроме того, расчет максимальных расходов р. Большой Чичатки в створе ст. Амазар выполним методом аналогии по формуле (7.92). В качестве аналога принимаем р. Амазар — ст. Амазар, по которой параметры максимального стока приведены к многолетнему периоду и максимальные расходы равны $Q_{max\ 1\%}=2630$ $м^3/сек$ и $Q_{max\ 5\%}=1630$ $м^3/сек$.

Характеристики реки-аналога: $F=5170$ *км*^{2}, $L=175$ *км*, $I=1{,}9‰$, $f_б=7\%$, $f_л=79\%$. Расчетная река является притоком реки-аналога, и физико-географические характеристики их бассейнов достаточно близки между собой.

Коэффициент, учитывающий влияние болот в бассейне-аналоге,

$$\delta_а = 1 - 0{,}8 \lg (1 + 0{,}1 \cdot 7) = 0{,}82.$$

Преобразуем формулу (7.92) к виду, более удобному для расчетов,

$$Q_{max\ p} = Q_{max\ p\ а} \left(\frac{F}{F_а}\right)^{1-n} \frac{\delta}{\delta_а},$$

где $Q_{max\ p\ а}$ — максимальный расход реки-аналога обеспеченностью $p\%$.

Имея необходимые параметры, вычислим максимальные расходы в расчетном створе заданных обеспеченностей:

$$Q_{max\ 1\%} = 2630 \left(\frac{2830}{5170}\right)^{0{,}65} \frac{0{,}84}{0{,}82} = 1820\ м^3/сек,$$

$$Q_{max\ 5\%} = 1630 \left(\frac{2830}{5170}\right)^{0{,}65} \frac{0{,}84}{0{,}82} = 1130\ м^3/сек.$$

В обоих случаях получены достаточно близкие расчетные максимумы.

Следует отметить, что во время выдающегося наводнения в 1958 г. на р. Большой Чичатке в створе ст. Амазар прошел максимальный расход воды дождевого паводка 1270 *м*^{3}/*сек*.

Пример 7.14. Определить максимальные расходы воды дождевого паводка 1 и 5%-ной обеспеченности ручья Безымянного в бассейне Верхней Лены.

Исходные характеристики: $F=15{,}0$ *км*^{2}, длина главного водотока от наиболее удаленной точки 7,5 *км*, средневзвешенный уклон главного водотока $I=50‰$, уклон склонов $I_{ск}=250‰$, $f_л=80\%$, почвы суглинистые, склоны поросшие лесом и травой, русло умеренно извилистое, каменистое, засоренное.

Расчет выполняется по формуле предельной интенсивности (7.98), параметры которой имеют следующие значения: суточный максимум осадков 1%-ной обеспеченности, снятый с карты изолиний (приложение XLI) $H_1\% = 96{,}0$ *мм*; коэффициент стока, установленный по табл. 7,26 в зависимости от категории почв и площади водосбора, $\alpha=0{,}65$, слой стока $\alpha H_1\% = 62{,}4$.

Приближенное значение $\tau_{ск}$ в соответствии с рекомендациями для лесной зоны и незаболоченных бассейнов с площадью водосбора более 10 *км*^{2} принимается равным 100 мин. Коэффициент, зависящий от шероховатости русла и поймы, установленный по табл. 7.25, $m=9$.

Гидроморфометрическая характеристика русла по формуле (7.99) равна

$$\Phi_р = \frac{1000 \cdot 7{,}5}{9 \cdot 50^{1/3} 15^{1/4} (62{,}4)^{1/4}} = 43{,}8.$$

По установленным $t_{ск}$, $\Phi_р$ и 13-му типу кривой редукции осадков (приложение XLII) с помощью табл. 7.27 получили относительную величину модуля максимального стока

$$\frac{q_{1\%}}{\alpha H_{1\%}} = 0{,}038.$$

Тогда максимальный расход воды 1%-ной обеспеченности

$$Q_{max\ 1\%} = q_{max} F = 0{,}038 \cdot 62{,}4 \cdot 15 = 35{,}5\ м^3/сек.$$

Переходный коэффициент от максимального расхода 1%-ной обеспеченности к расходу 5%-ной обеспеченности, установленный по табл. 7.30 для второго района (приложение XXXVIII) $\lambda'=0{,}69$. При этом максимальный расход 5%-ной обеспеченности

$$Q_{max\ 5\%} = 0{,}69 \cdot 38{,}3 = 24{,}5\ м^3/сек.$$

§ 7.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ПО СЛЕДАМ ПРОШЕДШИХ ПАВОДКОВ

Определение максимальных расходов воды малых водотоков (логов, балок, ручьев) по меткам уровня высоких вод (УВВ) дождевых паводков и весенних половодий производится по гидравлическим и морфометрическим характеристикам русел водотоков, которые устанавливаются при гидрографическом обследовании водосборов. При этом максимальный расход определяется как произведение площади живого сечения при УВВ на соответствующую этому уровню среднюю скорость течения, вычисляемую по формуле Шези—Павловского, т. е.

$$Q = \omega v = \omega \frac{1}{n} h_{ср}^{x} \sqrt{h_{ср} i}, \qquad (7.108)$$

где ω — средняя площадь живого сечения в $м^2$; $\frac{1}{n}$ — обратная величина коэффициента шероховатости по шкале М. Ф. Срибного (приложение 10); x — показатель степени при средней глубине, определяемый в зависимости от коэффициента шероховатости (приложение 10); $h_{ср}$ — средняя глубина живого сечения в $м$; i — средний уклон линии свободной поверхности водотока при уровне высоких вод (в долях единицы).

Показатель степени x при средней глубине $h_{ср}$ принимается дифференцированно в зависимости от $\frac{1}{n}$ для водотоков глубиной не более 3,0 $м$. Для водотоков глубиной более 3,0 $м$ этот параметр может быть принят постоянным и равным $x = \frac{1}{6}$.

Для получения надежных результатов участки для определения максимальных расходов на обследуемом водотоке выбираются с таким расчетом, чтобы можно было установить достоверные метки УВВ, а также проверить и взаимно сопоставить расходы воды. Поэтому пункты определения максимумов следует назначать как по основному руслу с освещением характерных участков по длине потока (верхний, средний, нижний), так и по притокам (рис. 7.20).

Участки для определения (вычисления) расходов воды должны по возможности отвечать условиям равномерности течения и выбираться прямолинейными или со слабой кривизной, с однообразной правильной формой поперечного профиля, однообразной шероховатостью и свободным течением.

На выбранном участке разбиваются минимум три створа с примерно равными расстояниями между ними.

Исходя из условий получения необходимой точности в определении продольного уклона водотока, длина участка должна

быть такой, чтобы падение между крайними нивелируемыми точками составляло не менее 0,5 *м*.

Если водоток извилистый, плесы чередуются с перекатами, створы для определения расходов разбиваются так, чтобы один из них располагался в месте, где размеры русла близки к средним на всем участке, второй — в более узком сечении (плес) и третий — в наиболее широкой части русла (перекат). При этом участок, на котором определяется продольный уклон водной поверхности (или дна русла), должен охватывать хотя бы два-три плеса и переката. На водотоках с малыми уклонами эта длина должна составлять примерно 1,5—2,0 *км*. На очень малых водотоках участки должны быть такой длины, чтобы падение было 1,00 *м*.

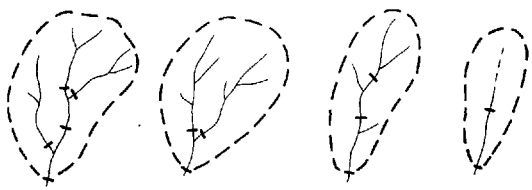


Рис. 7.20. Расположение створов при различном развитии тальвежной сети.

На выбранных участках после установления меток УВВ производится съемка поперечных профилей русла и поймы, нивелировка продольного уклона потока и назначается величина коэффициента шероховатости по таблице М. Ф. Срибного. В случае выхода УВВ на пойму поперечные профили назначаются приблизительно перпендикулярно направлению долины (а не русла) потока. Если нивелирование сопряжено с большими трудностями и значительной затратой времени (высокие крутые склоны, облесенность), оно может быть заменено ватерпасовкой.

Подсчет отметок точек профилей производится по обычным правилам топографии. Для удобства рассмотрения и сравнения поперечных профилей отметки их пересчитываются в превышения над наинизшей точкой дна, для чего из полученных отметок вычитается отметка наинизшей точки профиля.

Для определения уклона обычно нивелируются метки УВВ, а при их отсутствии — дно русла или урез воды в момент обследования.

Уровни высоких вод устанавливаются на основе опроса сведущих лиц из местного населения (старожилов), сведений, имеющихся в местных организациях (областные, районные и сельские советы, совхозы, колхозы, железнодорожные организации и др.), а также путем непосредственного установления следов паводка по различным признакам на местности (по отложениям на берегах, стволах деревьев, кампях растительного мусора —

травы, соломы, водорослей, хвороста и пр. — и илистых образований; по смыву наносной породы с коренных отложений; по размывам берегов русла и склонов долины; по искусственным меткам, закрепленным на различных сооружениях — мостах, дорожных трубах и др.).

Если метки УВВ не совпадают с выбранными поперечными профилями, они должны быть перенесены на эти профили. Уровень переносится на профили по линии свободной поверхности воды, нанесенной на продольном профиле параллельно сохранившимся меткам УВВ какого-либо одного года (обычно года, в который производится обследование), а при недостаточности меток этого года — по среднему уклону (отношение общего падения к общей длине участка) современного уреза или дна русла (тальвега). В последнем случае линия уровня проводится по среднему уклону через установленную на местности метку УВВ. Если невозможно перенести уровень на выбранный участок по местным причинам (впадение притока, значительное расширение затопляемого участка, водохранилище и пр.), расход определяется для участка, имеющего метки УВВ, приближенно, о чем делаются указания в журнале рекогносцировочного обследования.

Если на исследуемом водотоке имеются мосты и дорожные трубы, необходимо определить размеры отверстий сооружений, выписать сведения об имеющихся на них метках глубины затопления отверстия и определить размеры образующегося перед сооружением водохранилища при УВВ путем съемки двух-трех поперечных и продольных профилей водохранилища (для оценки регулирующего влияния водохранилища на величину максимального расхода). Одновременно на участке водотока ниже моста производится съемка поперечных профилей по правилам, изложенным выше, назначается коэффициент шероховатости и нивелируется уклон по следам УВВ, тальвегу или существующему урезу воды.

Материалы, полученные при полевых работах, подвергаются камеральной обработке, результаты которой оформляются в виде, представленном на рис. 7.21. Профили строятся на листе миллиметровой бумаги, на котором размещаются также кривые площадей, скоростей и расходов воды для основного поперечного профиля, продольный профиль и схематический план участка водотока.

В качестве расчетных величин площади живого сечения и элементов формулы скорости течения (коэффициента шероховатости, средней глубины и показателя степени при ней) принимают средние арифметические из их значений, определенных отдельно для каждого поперечного сечения.

При сложном профиле поперечного сечения с различными по его ширине условиями протекания расхода площадь живого

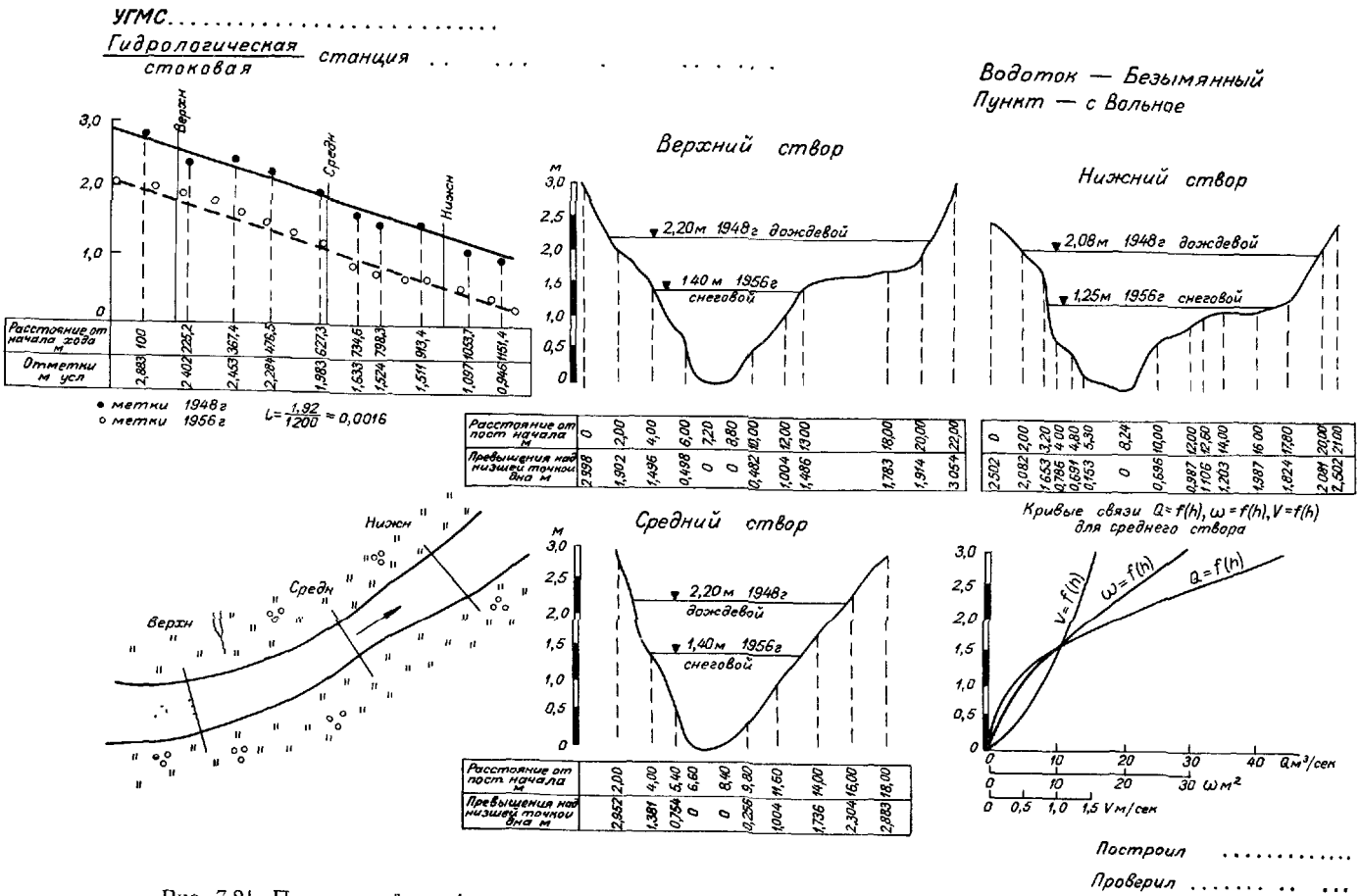


Рис. 7 21 Продольный профиль и поперечные профили по данным нивелировки 28 VII 1956 г.

Таблица 7.33

Подсчет максимальных расходов воды дождевых (снеговых) паводков на малых водотоках по меткам УВВ, определенным в 1956 г.

Район: Сальские степи

Площадь водосбора F км²	Длина водотока L км	Средний уклон водотока I	Дата прохождения макс. расхода	Дата определения меток УВВ	Длина участка l м	Уклон участка i: по меткам УВВ прошлых лет	Уклон участка i: по меткам УВВ данного года	Уклон участка i: по уреау воды в момент обследования	По диу (тальвега)	Морфологические элементы поперечного профиля	Коэффициент шероховатости $\frac{1}{n}$: верхний створ	средний (основной) створ	нижний створ	средний
Балка Кленовая — с. Рощино														
28,8	12,2	0,0055	16/VII 1955	21/VII	1000	—	0,0049	—	—	Пойма левая	—	—	—	—
										Русло	25	25	25	25
										Пойма правая	—	—	—	—
Ручей Безымянный — с. Вольное														
82,6	16,8	0,0018	1948	28/VII	1200	—	—	—	0,0016	Пойма левая	—	—	—	—
										Русло	25	25	25	25
										Пойма правая	20	—	20	20

Площадь живого сечения ω м²				Ширина потока b м				Средняя глубина $h_{ср}$ м				Показатель степени x при средней глубине	Коэффициент $A=\frac{1}{n}h_{ср}^{x}\sqrt{h_{ср}}$	Расход воды, м³/сек		Период (число лет), к которому отнесен расход T	Модуль максимального расхода $q=\frac{Q}{F}$ л/сек км²	Примечание
верхний створ	средний (основной) створ	нижний створ	средняя	верхний створ	средний (основной) створ	нижний створ	средняя	верхний створ	средний (основной) створ	нижний створ	принятая средняя			частный $\Delta Q=\Delta\omega A\sqrt{I}$	общий $Q=\Sigma\Delta Q$			
Балка Кленовая — с. Рощино																		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
6,8	7,6	7,2	7,2	14,2	13,8	13,6	13,9	0,48	0,55	0,53	0,52	0,25	15,3	—	7,68	10	267	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Ручей Безымянный — с. Вольное																		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
15,6	16,3	15,3	15,7	11,5	12,2	10,6	11,5	1,36	1,30	1,44	1,37	0,25	31,7	19,9	21,2	8	257	
3,80	—	5,56	3,12	7,6	—	7,4	5,0	0,50	—	0,75	0,42	0,28	10,1	1,25				

сечения и гидравлические элементы вычисляются раздельно для каждой однообразной части профиля (русла, поймы и пр.) с последующим осреднением по трем створам (отдельно для каждой характерной части поперечного профиля). При этом осреднение производится путем деления суммы соответствующих величин на общее число поперечных профилей независимо от того, на каком числе поперечников были те или иные характерные части, для которых получены осредняемые характеристики. Например, сумма площадей живых сечений поймы (или средних глубин) по трем поперечникам делится на три независимо от количества профилей с поймами. Коэффициент шероховатости для пойм назначается средним (а не путем деления на три).

Имея осредненные данные по гидравлическим и морфометрическим характеристикам русла при установленной метке УВВ для трех поперечных сечений русла, расход вычисляют по формуле (7.108).

В целях облегчения вычислительных работ расход можно определять по упрощенной формуле

$$Q = \omega A \sqrt{i}, \qquad (7.109)$$

где величина коэффициента $A = \frac{1}{n} h_{ср}^{x} \sqrt{h_{ср}}$ для наиболее часто встречающихся значений обратной величины коэффициента шероховатости (12,5—30) может быть определена с помощью приложения 10.

При сложном поперечном профиле расход определяется путем суммирования частных расходов, вычисленных отдельно для каждого характерного участка профиля по осредненным для трех сечений значениям гидравлических характеристик русла. Вычисление расхода производится по форме табл. 7.33.

Ниже излагаются рекомендации по определению расходов воды через малые искусственные сооружения (мосты малых отверстий, шириной до 4—6 *м*, прямоугольные трубы безнапорные — поток имеет свободную поверхность на всем протяжении трубы).

Вычисление расхода через малые водопропускные сооружения (с горизонтальным дном или со слабым уклоном, которым можно пренебречь) производится по формулам для водослива с широким порогом.

Водослив с широким порогом характеризуется величиной отношения ширины порога вдоль потока C к напору перед водосливом H (рис. 7.22), равной $\frac{C}{H} = 2{,}5 \div 10$.

На истечение через водослив, кроме напора H, оказывает влияние скорость подхода v_0. Поэтому напор в расчетной формуле водослива выражается через $H_0 = H + h_0 = H + \frac{v_0^2}{2g}$.

Величина h_0 обычно имеет небольшое численное значение по сравнению с H_0. Например, при значительной скорости ($v_0=2$ *м/сек*) $h_0=0{,}204$ *м*, при $v_0=1{,}0$ *м/сек* $h_0=0{,}051$ *м*, при $v_0=0{,}5$ *м/сек* $h_0=0{,}013$.

Скорость подхода v_0 определяется по формуле

$$v_0=\frac{Q}{\omega_0}, \tag{7.110}$$

где Q — расход воды через сооружение; ω_0 — площадь подпертого живого сечения перед сооружением.

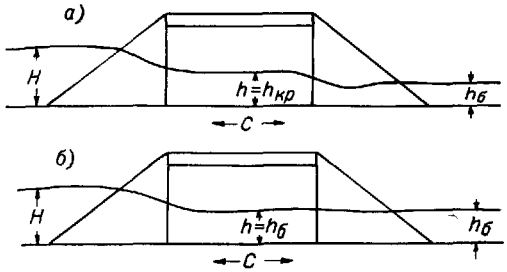


Рис. 7 22 Схема протекания при незатопленном (*а*) и затопленном (*б*) водосливах.

При определении расхода воды через отверстия малых мостов и безнапорных труб следует различать два случая протекания потока через сооружение:

1) по схеме незатопленного водослива с двумя перепадами, когда уровень нижнего бьефа не оказывает влияния на протекание воды по водосливу и на пороге последнего (на расстоянии, приблизительно равном H от конца выходного отверстия) устанавливается глубина h, равная критической глубине $h_{кр}$ (см. рис. 7.22);

2) по схеме затопленного водослива с одним перепадом, когда уровень нижнего бьефа распространяется на водослив и на пороге последнего наблюдается глубина h, равная бытовой глубине $h_б$ (глубина в естественных условиях, т. е. в нестесненном русле, см. рис. 7.22).

Влияние нижнего бьефа на режим в сооружении начинает сказываться только при $h_б/h_{кр}>1{,}25$.

Соответственно этому критерием для суждения о незатопленности или затопленности водослива в малых мостах и безнапорных трубах являются следующие соотношения между глубиной в конце незатопленного водослива $h_{кр}$ и бытовой глубиной $h_б$:

водослив незатопленный при условии

$$h_б<1{,}25h_{кр}, \tag{7.111}$$

водослив затопленный при условии

$$h_б>1{,}25h_{кр}. \tag{7.112}$$

Таблица 7.34

Значения M, μ, K, $\frac{1}{K}$

		$\frac{b}{B}$									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Водослив с прямоугольными устоями	M	1,43	1,43	1,43	1,44	1,47	1,51	1,55	1,60	1,66	1,71
	μ	0,84	0,84	0,84	0,85	0,86	0,89	0,91	0,94	0,97	1,00
	K	0,61	0,61	0,61	0,61	0,62	0,63	0,65	0,66	0,67	0,69
	$\frac{1}{K}$	1,65	1,65	1,65	1,64	1,61	1,58	1,55	1,51	1,48	1,45
Водослив со скругленными устоями	M	1,56	1,56	1,56	1,57	1,59	1,60	1,63	1,65	1,68	1,71
	μ	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	1,00
	K	0,65	0,65	0,65	0,65	0,66	0,66	0,67	0,67	0,68	0,69
	$\frac{1}{K}$	1,55	1,55	1,54	1,54	1,53	1,51	1,50	1,49	1,47	1,45

Величина $h_{кр}$ может быть определена по формуле

$$h_{кр} = KH_0, \tag{7.113}$$

где H_0 — напор, направленный на скорость подхода v_0; K — переходный коэффициент, зависящий от коэффициента расхода μ, который в свою очередь зависит от условий протекания воды через сооружение (от соотношения между шириной отверстия b и шириной верхнего бьефа B и типа устоев сооружения).

Коэффициент K может быть вычислен по формуле

$$K = \frac{2{,}2 - \mu^2}{1 + 2{,}2\mu^2}. \tag{7.114}$$

Значения коэффициентов μ, K и $\frac{1}{K}$ приведены в табл. 7.34.

Критическая глубина $h_{кр}$ может быть получена по уравнению

$$h_{кр} = 0{,}482 \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{b}\right)^2}, \tag{7.115}$$

где $\frac{Q}{b}$ — удельный расход воды (расход на единицу ширины отверстия сооружения) в $м^3/сек$.

Для облегчения пользования формулой (7.115) в табл. 7.35 приведены значения $h_{кр}$, вычисленные по этой формуле для различных величин $\frac{Q}{b}$.

Таблица 7.35

Значения $h_{кр}$ по формуле $h_{кр} = 0{,}482 \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{b}\right)^2}$

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

Протекание воды через сооружения по схеме незатопленного водослива наблюдается обычно при отсутствии выраженного лога и при малых уклонах его склонов, когда водоток обладает малыми бытовыми глубинами и в сечении моста сжат по сравнению с естественными условиями.

Истечение по схеме затопленного водослива может наблюдаться при больших бытовых глубинах, когда водоток перед сооружением имеет сравнительно глубокое русло или крутые склоны и находится в условиях малого сжатия искусственным сооружением.

Работа отверстия сооружения по схеме затопленного водослива наблюдается также:

а) при зарегулированном стоке, когда мост располагается на искусственном русле, в подпоре плотиной или другим водотоком;

б) на малых водотоках в случае излишней величины отверстия моста.

Общей расчетной формулой расхода водослива с широким порогом может служить уравнение вида

$$Q = MbH_0^{3/2}\sigma_з, \qquad (7.116)$$

где b — ширина отверстия сооружения в *м*; $H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g}$ — напор (глубина подпора воды перед сооружением); M — коэффициент расхода незатопленного водослива, определяемый по табл. 7.34 в зависимости от соотношения ширины отверстия b и ширины верхнего бьефа B, а также от типа оголовков устоев сооружения; $\sigma_з$ — коэффициент затопления (табл. 7.36).

Таблица 7.36

Значения $\sigma_з$

$\frac{h}{H_0}$	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	
$\sigma_з$	1,00	0,995	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,90	
$\frac{h}{H_0}$	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
$\sigma_з$	0,87	0,84	0,82	0,78	0,74	0,70	0,65	0,59	0,50	0,40

Так как в формулу (7.116) входит напор H_0, учитывающий скорость подхода v_0, которая до определения расхода Q неизвестна, то вначале для первого приближения принимается $H_0 = H$. Найдя, таким образом, предварительное (первое) значение Q', определяем по формуле (7.110) скорость подхода v_0, а затем более точную величину $H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g}$, после чего по формуле (7.116) получим уточненное (второе) значение расхода Q.

При применении формулы (7.116) для определения расходов воды через отверстия малых мостов и безнапорных труб в зависимости от исходных данных, полученных в результате обследования сооружений, могут встретиться три основных случая. Порядок решения задач применительно к этим случаям приводится ниже, полагая значения b, B, μ и M заданными.

Первый случай — известен подпор перед сооружением H и глубина воды в сооружении h.

Находим отношение $\frac{h}{H}$ и по табл. 7.36 определяем $\sigma_з$. После подстановки соответствующих значений в формулу (7.116) вычисляем расход воды через сооружение Q.

Второй случай — известна только величина подпора перед сооружением H.

Для определения расхода необходимо предварительно построить кривую связи $Q=f(h_б)$ для створа на участке, прилегающем к сооружению с низовой стороны (вычисление расходов для различных уровней производится по данным съемки участка, полученным при рекогносцировочном обследовании, по правилам, изложенным выше). Полученная кривая расходов $Q=f(h_б)$ относится непосредственно к нижнему бьефу сооружения.

Далее, предполагая, что истечение происходит по схеме незатопленного водослива, вычисляем по формуле (7.116) расход (по заданному H и при $\sigma_з=1{,}00$) и с помощью кривой $Q=f(h_б)$ определяем бытовую глубину $h'_б$, соответствующую полученному расходу Q'. Затем по данным значений μ и H определяем по формуле (7.113) критическую глубину $h_{кр}$ и проверяем условие затопленности (или незатопленности) водослива.

Если окажется, что $h'_б < 1{,}25\ h_{кр}$, то водослив незатопленный и искомым расходом Q является расход Q'.

При $h'_б > 1{,}25 h_{кр}$ получаем затопленный водослив и расход Q' следует уточнить путем введения в формулу (7.116) поправочного коэффициента на затопление $\sigma_з$.

Величина коэффициента $\sigma_з$ определяется подбором. Для этой цели задаемся рядом значений $h_б$ и по величине отношения $\frac{h_б}{H}$ подбираем в табл. 7.36 такое значение $\sigma_з$, при котором расход, вычисленный по формуле (7.116), соответствовал бы расходу, снятому с кривой $Q=f(h_б)$ по вводимой в расчет величине $h_б$.

Третий случай — известна только глубина h в сооружении.

Полагая $h=h_б$ и определив по кривой связи $Q=f(h_б)$ соответствующий расход Q', находим по табл. 7.35 критическую глубину $h_{кр}$, отвечающую расходу Q', и сопоставляем ее с $h_б$.

Таблица 7.37

Вычисление максимальных расходов дождевых паводков через малые искусственные сооружения

Район: Сальские степи

Дата обследования сооружения	Дата прохождения максимального расхода	Водоток	Место расположения сооружения	Площадь водосбора F км²	Длина водотока L км	Средний уклон I водотока	Тип сооружения (мост, труба)	Типы входных оголовков устоев или быков	Ширина отверстия b м	Ширина верхнего бьефа B м	Коэффициент сжатия $\frac{b}{B}$	Глубина потока в сооружении при метке УВВ h м	Глубина подпора перед сооружением H м	Скорость подхода v_0 м/сек	Напор с учетом скорости подхода $H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g}$ м	Коэффициент расхода незатопленного водослива M	Коэффициент затопления водослива $\sigma_з$	Расход $Q = MbH_0^{3/2}\sigma$ м³/сек	Модуль максимального расхода $q = \frac{Q}{F}$ л/сек с 1 км²	Период (число лет), к которому отнесен расход P лет
10 VIII	8/VI 1956	Лог Крутой	523-й км Курск. ж. д.	35,3	8,35	0,0034	Мост	Закруг. устой	3,0	7,5	0,4	1,25	1,70	1,50	1,82	1,566	1,0	11,5	326	8
13 VIII	1954	Балка Глубокая	Шоссе Поляны—Заречье	3,42	2,72	0,0043	Труба	Прямоуг. устой	1,5	2,0	0,7	0,80	0,90	0,55	0,92	1,554	0,87	1,80	527	10

Если $h_б > 1{,}25h_{кр}$, то водослив затопленный и искомый расход $Q = Q'$.

При условии $h_б < 1{,}25h_{кр}$ водослив незатопленный и расход Q вычисляется по формуле (7.116) при $\sigma_з = 1{,}00$. При этом величина подпора H, соответствующая наблюденной глубине в сооружении h, определяется исходя из формулы (7.113), т. е. $H = \frac{1}{K} h$.

Полученные расходы воды во всех случаях уточняются путем исправления подпора H на скорость подхода v_0, о чем было сказано выше.

Результаты определений расходов воды через малые искусственные сооружения сводятся в табл. 7.37.

Расчеты по формуле (7.116) являются приближенными и могут применяться только при безнапорном режиме с частичной трансформацией максимального расхода водонапорным бассейном перед насыпью.

Для полунапорных и напорных труб максимальный расход может быть определен по формулам и способами, рассматриваемыми в специальной литературе по гидравлике.

Полученные величины максимальных расходов подвергаются критической проверке. Проверка заключается в сопоставлении расходов по створам с учетом условий стока на водосборе (в русле и долине).

При анализе соответствия максимумов местным условиям водосбора следует иметь в виду, что в наиболее общем и простом случае (бесприточный участок) в верхних частях водосбора обычно происходит непрерывное увеличение расхода вниз по течению (за счет интенсивного питания), а в нижних частях водосбора наблюдается нередко убывание максимального расхода (вследствие распластывания паводка).

Далее, при небольших различиях в площадях водосборов для пунктов на притоке и на главном русле выше притока (см. рис. 7.20) расход в нижнем, замыкающем створе должен быть равен (при совпадении максимумов паводка) или меньше (при несовпадении пиков паводка) суммы расходов двух вышележащих пунктов.

Проверка правильности определения максимальных расходов по меткам УВВ может быть выполнена также путем вычисления и взаимного сопоставления по створам слоев h и объемов W паводочного стока.

Величина слоя стока h для створа может быть вычислена по формуле

$$h = \frac{Q}{v_д B}, \qquad (7.117)$$

где Q — максимальный расход, соответствующий метке УВВ,

в $м^3/сек$; $B=\frac{F}{L}$ — средняя ширина водосбора в $км$, определяемая путем деления площади водосбора F на длину водотока L; $v_д$ — средняя скорость добегания воды по длине водотока в $м/сек$, вычисляемая по формуле Г. А. Алексеева (7.37),

$$v_д = aI^{1/3}Q^{1/4}.$$

При примерно однообразной форме русла на всем протяжении водотока величина скорости $v_д$, вычисленная по формуле (7.37), должна быть близкой к скорости $v=\frac{1}{n}h_{ср}^{x}\sqrt{h_{ср}i}=A\sqrt{i}$ в створе при УВВ

$$v_д \simeq \frac{1}{2}v \div \frac{2}{3}v.$$

Значительное расхождение между скоростью добегания $v_д$ и скоростью в рассматриваемом створе v (более чем в два раза) может иметь место при существенном отличии формы русла, уклона и коэффициента шероховатости в створе от средних величин тех же характеристик по всей длине водотока.

Величины слоя стока h_1, h_2, ..., h_n, вычисленные по формуле (7.17), должны быть, как правило, примерно одинакового порядка для близко расположенных створов, если метки УВВ соответствуют паводкам приблизительно одинаковой повторяемости.

Объем паводочного стока W, который может быть вычислен по формуле $W=1000hF$ $м^3$ (где h — слой стока, вычисленный по формуле (7.117), F — площадь водосбора для данного замыкающего створа), во всех случаях, как правило, должен возрастать с увеличением площади водосбора, если метки УВВ соответствуют одному и тому же паводку или паводкам одинаковой повторяемости.

Если площадь водосбора для замыкающего створа примерно равна сумме площадей частных водосборов (см. рис. 7.20), то при правильном определении максимального расхода сумма объемов стока в этих створах должна быть примерно равна объему стока в замыкающем створе.

В целях контроля могут быть использованы также данные определений по искусственным сооружениям.

В результате анализа максимальных расходов устанавливаются допущенные ошибки, выясняются их причины и корректируются или бракуются ошибочные расходы.

Максимальные расходы, полученные по меткам УВВ, сопоставляются с максимумами этого же паводка или половодья, наблюденными в гидрометрических створах на реках данного района. Их обеспеченность или повторяемость оценивается по обеспеченности максимальных расходов или уровней данного па-

водка, зарегистрированных в створах стационарных наблюдений, а также по обеспеченности осадков, вызвавших этот паводок (максимальный суточный и часовой слой осадков, слой осадков за весь дождь), и опросам старожилов. В дальнейшем они используются для определения или уточнения параметров региональных формул максимального стока.

Ниже приводится пример анализа зависимости модулей максимального стока от площади водосбора, построенной по материалам экспедиционных обследований и стационарных наблюдений.

Пример 7.15. Установить зависимость модулей максимального стока дождевых паводков от площади водосборов для рек и малых водотоков бассейна Верхнего Амура, сделать анализ ее и определить расчетные параметры региональной формулы.

В качестве исходных данных используем максимальные расходы малых водотоков, установленные экспедицией ЛГМИ по следам УВВ выдающегося паводка 1958 г. сразу после его прохождения, и максимальные расходы рек по данным стационарных наблюдений ГМС (табл. 7.38).

Таблица 7.38

Сведения о максимальных расходах дождевых паводков рек бассейна Верхнего Амура

№ п/п	Река — пункт	Площадь водосбора, $км^2$	Заболоченность $f_б$ %	$Q_{max\ 1\%}$ $м^3/сек$
	Створы ГМС			
1	Шилка — х. Часовая	200 000	—	10 700
2	Онон — с. Бытэв	49 500	—	4 110
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
32	Могоча — г. Могоча	1 340	10	1 180
33	Б. Чичатка — ст. Амазар . .	2 830	6	1 680
34	Б. Невер — с. Сковородино . .	1 563	18	265
35	Берея — с. Саскаль	1 940	13	866
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
	По меткам УВВ			
39	Березовка — 6833,2 *км* ж. д.	62,7	10	123
40	Б. Собачкина — 6837,9 „	53,8	9	116
41	М. Собачкина — 6839,6 „	11,6	1	20,6
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
62	Улятка — 7203,3 *км* ж. д. . .	80,0	12	103
63	Халан — 7215,8 „ . .	21,5	10	28,6
64	Уруша — 7242,8 „ . .	1900	8	1070

Максимальные расходы выдающегося паводка могут считаться достаточно достоверными. Их обеспеченность соответствует 1—2%.

Чтобы иметь равнообеспеченные максимальные расходы в створах ГМС, по данным стационарных наблюдений установлены параметры кривых обеспеченности и получены максимумы 1%-ной обеспеченности.

На рис. 7.23 представлена зависимость $\lg\frac{q_{\max 1\%}}{\delta_2}=\psi(\lg F)$, где $q_{\max 1\%}$ — максимальный модуль в *л/сек* с 1 *км*², а F — площадь водосбора в *км*². Делением $q_{\max 1\%}$ на коэффициент δ, учитывающий снижение максимальных расходов болотами и озерами, исключается влияние заболоченности и озерности бассейнов, что приводит к улучшению связи.

Анализируя связь $\lg\frac{q_{\max 1\%}}{\delta}=\psi(\lg F)$, прежде всего нужно отметить хорошо выраженную закономерность убывания модулей максимального дождевого стока с возрастанием водосборов во всем диапазоне площадей. Экспе-

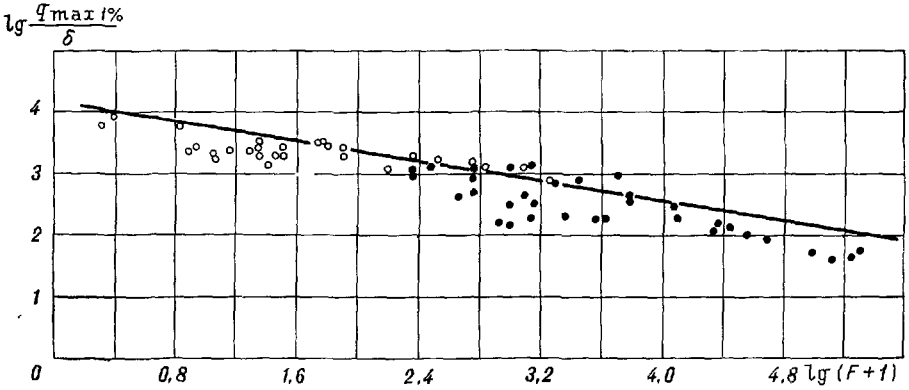


Рис. 7.23. Зависимость модулей максимального стока 1%-ной обеспеченности от площади водосбора рек бассейна Верхнего Амура.
● — по данным ГМС, ○ — по меткам ГВВ.

диционные материалы хорошо восполнили отсутствие стационарных наблюдений на малых водотодах и послужили основанием для проведения связи $q_{\max 1\%}=f(F)$ в зоне малых площадей. Как видно из расположения точек максимальных модулей, установленных по меткам ГВВ, такую связь можно было бы получить и только по ним, без материалов стационарных наблюдений. С другой стороны, нелегко представить в данном случае надежную связь $q_{\max 1\%}=f(F)$ только по материалам стационарных наблюдений без экспедиционных обследований. Этим подтверждается ценность определения максимальных расходов малых водотоков по свежим меткам УВВ выдающихся паводков.

При общей хорошо выраженной закономерности убывания модулей максимального стока с возрастанием площадей водосборов на графике $q_{\max}=f(F)$ имеется заметный разброс и отклонение точек от общей линейной связи. Это объясняется различиями значениями слоев паводкообразующих осадков и коэффициентов стока в пределах сравнительно большого района, а также индивидуальными характеристиками речных бассейнов, способствующими снижению или повышению максимальных расходов, — залесенностью, заболоченностью, русловой и пойменной зарегулированностью, характером почво-грунтов, рельефа и другими характеристиками, отклоняющимися от их средних районных значений.

В то же время нельзя не отметить известные закономерные отклонения точек от общей линейной связи. Например, увеличивается редукция модулей максимального стока больших речных бассейнов (с $F>10\,000$ *км*²) вследствие распластывания паводков и возрастания русловой трансформации по длине

больших рек Если оставить без внимания три точки самых малых водосборов, которые оказались в центре дождя 1958 г с заметно повышенным слоем осадков по сравнению с районом массового обследования и, видимо, более редкой повторяемостью максимальных расходов, то нельзя не обнаружить уменьшение редукции в зоне малых площадей (с $F<50-40$ *км*^{2}) Последнее, как известно, объясняется очень малой редукцией интенсивности дождей в зоне малых продолжительностей, что особенно характерно для муссонных ливневых дождей с большой продолжительностью

Аналитическое выражение линейной связи $\lg \frac{q_{\max 1\%}}{\delta} = \psi(\lg F)$ (см. рис 7 23) и ее параметры, устаиовленные по уравнению прямой с последующей подстановкой $y=\lg \frac{q_{\max 1\%}}{\delta}$ и $x=\lg F$ (см пример 7 4), следующие

$$q_{\max 1\%} = \frac{A_{1\%}}{(F+1)^n}\,\delta = \frac{14{,}5}{(F+1)^{0{,}40}}\,\delta \ м^3/сек \text{ с } 1 \ км^2.$$

т е показатель степени редукции $n=0{,}40$, а элементариый модуль максимального стока $A_1\%=14{,}5$ *м*^{3}/*сек* с 1 *км*^{2}.

Заметим, что показатель степени редукции n в данном случае был установлен по прямой регрессии, а показанная на рис 7 23 прямая проведена параллельно ей по точкам более надежных максимумов

Из формулы (7 77) $A_{1\%}=0{,}278\ a_{\max 1\%}\ \sigma$ Откуда максимальная часовая интенсивность дождя 1%-ной обеспеченности при коэффициенте стока в районе полевых обследований $\alpha=0{,}7-0{,}8$ равна $a_{\max 1\%} = \frac{14{,}5}{0{,}278(0{,}7-0{,}8)} = 75-65$ *мм/час*, что близко к $a_{\max 1\%}$, вычисленным по данным наблюдений метеостанций района, и соответствует карте изолиний этого параметра (см рис 7 16)

Приведенные в данном примере анализ и сопоставления избавляют от случайных просчетов при решении подобных задач

Глава 8

РАСЧЕТ ГИДРОГРАФОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ И ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ

Для учета аккумуляции воды и определения степени трансформации расчетного максимального расхода при прохождении паводка через водохранилище необходимо знать не только расчетный максимальный расход, но и расчетный гидрограф притока к водохранилищу. Гидрографы строятся и при расчетах мостовых отверстий на значительных реках для учета аккумуляции паводочного стока в пойме и русле в результате создающегося подпора перед мостом. Основными элементами гидрографа, которые необходимо знать при учете трансформации водохранилищем, являются его объем W, максимальный расход $Q_{\max}$ и продолжительность T. Чем больше трансформирующая емкость водохранилища, тем большее значение имеет объем паводка и тем меньшее величина максимального расхода, и наоборот.

В соответствии с этим решается вопрос о выборе расчетного гидрографа. Например, в ливнеопасных районах при относительно малом водохранилище расчетным может оказаться ливневый паводок, имеющий максимальный расход, больший максимума весеннего половодья. При водохранилище большой емкости расчетным может быть гидрограф весеннего половодья с меньшим максимумом, но с бóльшим объемом, чем ливневый паводок. В районах муссонного климата и продолжительных ливневых дождей расчетными могут быть гидрографы дождевых паводков и при больших водохранилищах.

В сомнительных случаях необходимо выполнить расчет трансформации и для весеннего половодья и для дождевых паводков.

Расчетные гидрографы должны иметь обеспеченные значения максимального расхода $Q_{\max\, p}$ и объема W_p. Не всегда у наблюденных, а следовательно, и расчетных гидрографов обеспеченность максимального расхода соответствует обеспеченности его объема, т. е. $p_{Q_{\max}} \neq p_W$. Поэтому прежде чем приступить к построению расчетного гидрографа необходимо установить харак-

тер весеннего половодья и дождевых паводков в рассматриваемом районе и сравнить их максимальные расходы и объемы.

Существуют следующие методы построения расчетных гидрографов:

1) по моделям наблюденных гидрографов,

2) по геометрическим фигурам или уравнениям,

3) по ходу водоотдачи или дождя и графику распределения единичных площадей — генетический метод.

§ 8.1. РАСЧЕТ ПО МОДЕЛЯМ НАБЛЮДЕННЫХ ГИДРОГРАФОВ

Этим методом можно пользоваться при наличии данных наблюдений в расчетном створе или на реке-аналоге не менее чем за 10—15 лет. Это наиболее гибкий метод, он применим как к однопиковым, так и к многопиковым половодьям и паводкам.

По своей форме расчетный гидрограф должен быть наиболее неблагоприятным в отношении трансформации (срезки) водохранилищем максимального расхода. Поэтому в качестве модели для построения расчетного гидрографа по гидрографу-аналогу выбирается один или несколько наблюденных гидрографов, характеризующихся большим максимальным расходом или слоем (объемом) половодья.

Выбору расчетной модели предшествует построение и анализ графиков связи Q_{max} и $h(W)$ наблюденных половодий или паводков.

По рекам Юго-Востока СССР и Казахстана такая связь однозначная и достаточно тесная (рис. 8.1). Здесь наибольшим расходам соответствуют наибольшие объемы, т. е. они имеют равные обеспеченности. В этом случае в качестве расчетной модели выбирается наблюденный гидрограф с наибольшим максимальным расходом. Он же имеет и наибольший объем стока.

В северо-западных районах дружность весеннего половодья колеблется значительно, в его формировании принимают участие дожди. Разброс точек на графике связи $Q_{max}=f(h)$ бывает значительным (рис. 8.2). В этом случае выбираются две расчетные модели: одна — гидрограф года с наибольшим максимумом, вторая — гидрограф года с наибольшим объемом. Окончательный выбор расчетного гидрографа определяется в зависимости от конкретных характеристик водохранилища, т. е. выбирается тот, у которого трансформированный максимум окажется бóльшим.

Если на реке регулярно повторяются многовершинные гидрографы, выбирается такой, в котором один из пиков превосходит остальные.

Модели наблюденных гидрографов используются для построения расчетных гидрографов: 1) в створе наблюдений над стоком и 2) на неизученной реке или в створе сооружения на изученной реке, значительно удаленном от створа наблюдений.

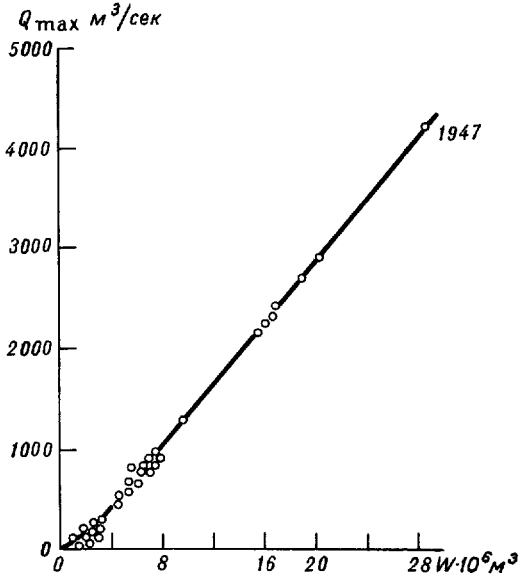


Рис. 8.1. Зависимость между максимальными расходами и объемами стока весеннего половодья р. Тобола у г. Кустаная.

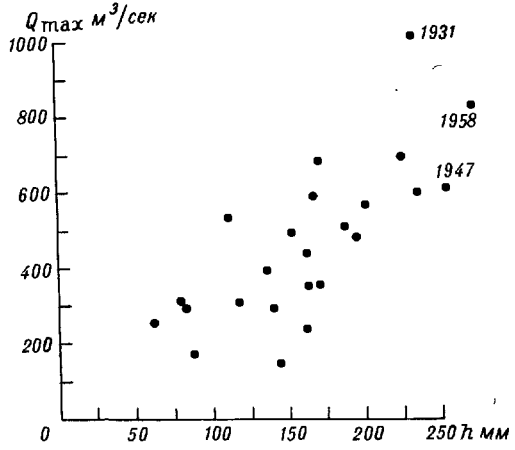


Рис. 8.2. Зависимость между максимальными расходами и слоями стока весеннего половодья р. Межы у с. Таборище (F = =5200 $км^2$) за 1931—1960 гг.

В первом более простом случае ординаты расхода расчетного гидрографа, соответствующего расчетному максимальному расходу или объему заданной обеспеченности, вычисляются путем умножения ординат (расходов) наблюденного гидрографа, принятого за расчетную модель, на коэффициент

$$k_1 = \frac{\widetilde{Q}_{\max p}}{\widetilde{Q}_{\max м}} \quad \text{или} \quad k_2 = \frac{W_p}{W_м} = \frac{h_p}{h_м}, \tag{8.1}$$

где $\widetilde{Q}_{\max p}$, W_p, h_p — расчетный средний суточный максимум, объем, слой обеспеченностью $p\%$; $\widetilde{Q}_{\max м}$, $W_м$, $h_м$ — соответствующие характеристики наблюденного гидрографа, принятого за расчетную модель.

Продолжительность расчетного гидрографа в этом случае принимается той же, что и продолжительность модели. Ввиду этого объемы расчетных гидрографов и моделей находятся в том же соотношении, что и максимальные расходы.

Пример 8.1. Построить расчетный гидрограф весеннего половодья 1%-ной обеспеченности р. Тобола у г. Кустаная по модели гидрографа, наблюденного в этом же створе.

Исходные данные — максимальные расходы и объемы весеннего половодья за 36 лет наблюдений (1931—1966 гг.), табл. 8.1.

Таблица 8.1

Максимальные расходы и объемы весеннего половодья р. Тобола у г. Кустаная

№ п/п	Год	$Q_{\max}$ $м^3/сек$	Дата	W 10^6 $м^3$
1	1931	103	8 V	2,10
2	32	659	21 IV	5,62
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
16	46	2310	23 IV	16,5
17	47	4200	4 V	28,8
18	48	2165	21 IV	15,5
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
35	65	1260	24 IV	9,60
36	66	590	17 IV	5,21

По данным этой таблицы строим график связи объемов и максимальных расходов весеннего половодья (см. рис. 8.1). Из графика видно, что связь удовлетворительная и однозначная, т. е. наиболее высоким максимумам соответствуют и наибольшие объемы весеннего половодья.

В качестве расчетной модели принимаем половодье 1947 г., имеющее наибольший максимальный расход и объем. Эти характеристики в данном случае равнообеспеченные.

В табл. 8.2 выписываем ежедневные расходы весеннего половодья 1947 г. и расчетного гидрографа 1%-ной обеспеченности.

Таблица 8.2

Текущие расходы весеннего половодья 1947 г. (гидрографа-модели) и расчетного гидрографа 1%-ной обеспеченности в $м^3/сек$ р. Тобола у г. Кустаная

$Q_{max\ м} = 4200\ м^3/сек$, $Q_{max\ 1\%} = 4730\ м^3/сек$

Число	Март		Апрель	
	$Q_{i\ м}$	$Q_{i\ 1\%}$	$Q_{i\ м}$	$Q_{i\ 1\%}$
1			1510	1700
2			3300	3720
3			4200	4730
4			3880	4370
5			2600	2930
6			1540	1735
7			856	964
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
29	3,78	4,26	30,7	34,6
30	5,22	5,87	29,7	33,5
31	2,23	2,51		

Текущие ординаты расчетного гидрографа получены в результате умножения ежедневных расходов модели на $k_1 = \frac{Q_{max\,1\%}}{Q_{max\ м}} = \frac{4730}{4200} = 1{,}125$.

Максимальный расход 1%-ной обеспеченности, равный 4730 $м^3/сек$, получен по кривой обеспеченности по 36-летнему ряду при $\overline{Q}_{max} = 898\ м^3/сек$, $C_v = 1{,}15$, $C_s = 2C_v$.

Расчетный и наблюденный гидрографы приведены на рис. 8.3.

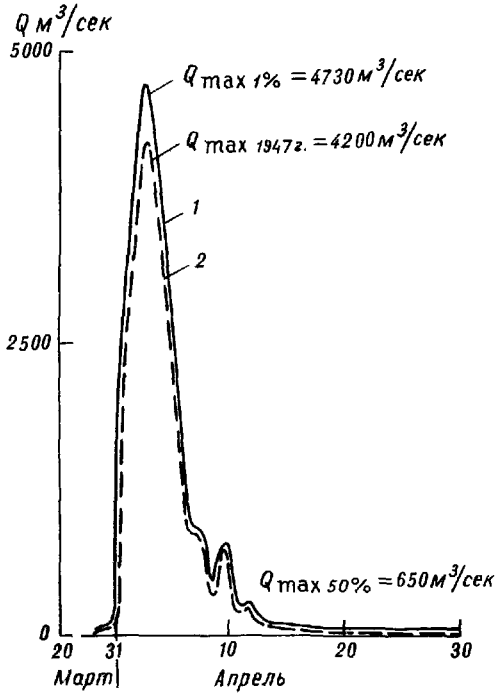


Рис. 8.3. Расчетный 1%-ной обеспеченности (*1*) и наблюденный гидрограф-модель 1947 г. (*2*) р. Тобола у г. Кустаная.

Во втором случае, когда модели наблюденных гидрографов или гидрографы-аналоги переносятся на неизученные реки, учитывается не только разница максимальных расходов или объемов расчетного гидрографа и гидрографа модели, но и разница в продолжитель-

ности половодья или паводка. Последняя может быть существенной за счет разных размеров бассейнов расчетной реки и реки-аналога.

Построение расчетного гидрографа по модели в этом случае производится путем пересчета координат (Q_i и t_i) гидрографа модели в координаты расчетного гидрографа по следующим соотношениям:

$$Q_i = Q_{i\,м} \frac{\widetilde{Q}_{max\,p}}{\widetilde{Q}_{max\,м}}, \tag{8.2}$$

$$t_i = t_{i\,м} \frac{\widetilde{q}_{max\,м}}{h_м} \cdot \frac{h_p}{\widetilde{q}_{max\,p}}, \tag{8.3}$$

где $Q_{i\,м}$, $t_{i\,м}$ — текущие координаты гидрографа модели (Q_i в $м^3/сек$, t_i в сутках); Q_i, t_i — соответственно текущие координаты расчетного гидрографа; $\widetilde{Q}_{max\,м}$, $\widetilde{q}_{max\,м}$, $h_м$ — средний суточный максимальный расход, модуль и слой стока гидрографа-модели (в $м^3/сек$, в $л/сек$ с 1 $км^2$, в $мм$); $\widetilde{Q}_{max\,p}$, $\widetilde{q}_{max\,p}$, h_p — средний суточный максимальный расход, модуль и слой стока расчетного гидрографа заданной обеспеченности.

Переход от мгновенного максимального расхода воды заданной обеспеченности $Q_{max\,p}$ к среднему суточному $\widetilde{Q}_{max\,p}$ осуществляется делением мгновенного расхода на коэффициент k_τ, значения которого приведены в табл. 8.3,

$$\widetilde{Q}_{max\,p} = \frac{Q_{max\,p}}{k_\tau}. \tag{8.4}$$

При сложной форме гидрографа-модели и принятии жестких календарных дат начала и конца половодья (паводка) на модели выделяется наиболее интенсивная (главная) часть половодья и определяется соответствующий ей слой стока $h^*_м$. Тогда ординаты главной части расчетного гидрографа вычисляются путем умножения ординат главной части модели на соотношение $\frac{\widetilde{Q}_{max\,p}}{\widetilde{Q}_{max\,м}}$. Ординаты остальной части расчетного гидрографа получаются путем умножения ординат модели на коэффициент λ, равный

$$\lambda = \frac{h_p - h^*_м \dfrac{\widetilde{q}_{max\,p}}{\widetilde{q}_{max\,м}}}{h_м - h^*_м} \frac{F}{F_м}, \tag{8.5}$$

где F — площадь водосбора до расчетного створа; $F_м$ — площадь водосбора реки-аналога.

Аналогом может быть река, расположенная в одних и тех же физико-географических условиях, с условиями формирования половодья, близкими к условиям бассейна, для которого производится расчет.

Таблица 8 3

Величины переходных коэффициентов k_τ от расчетных мгновенных максимальных расходов воды $Q_{max\,p}$ к средним суточным расходам $\widetilde{Q}_{max\,p}$

Природная зона (район)	Площадь водосбора в км²							
	1	10	50	100	500	1000	2000	5000
Равнинные реки								
зоны тундры и лесной зоны	1,6	1,4	1,3	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
лесостепной и степной зон	4,0	3,0	2,0	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0
зоны сухих степей и полупустынь . . .	6,0	4,0	2,5	2,0	1,5	1,4	1,3	1,2
Горные реки								
реки с весенне-летним половодьем	2,0	1,7	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1

Примечание. Для промежуточных значений площадей водосборов значения k_τ определяются интерполяцией.

§ 8.2. РАСЧЕТ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ ФИГУРАМ И УРАВНЕНИЯМ

Построение гидрографов этим методом производится для неисследованных средних и малых рек, характеризующихся одновершинной стройной волной половодья или паводка.

Наиболее простым видом геометрической схематизации гидрографов весеннего половодья и дождевых паводков является линейная схематизация по треугольнику, предложенная Д. И. Кочериным.

Уравнение гидрографа при схематизации по треугольнику записывается в виде:

для подъема

$$Q_t = Q_{max} \frac{t}{t_п}, \tag{8.6}$$

для спада

$$Q_t = Q_{max} \frac{t_{сп} - t}{t_{сп}}, \tag{8.7}$$

где t — текущая абсцисса от нуля для подъема и от максимума для спада; $t_п$ и $t_{сп}$ — продолжительность подъема и спада паводка.

Вычислив по имеющимся формулам Q_{max}, $t_п$ и $t_{сп}$ и задаваясь $t=1, 2, 3$ суткам (часам) и т. д., можно вычислить весь гидрограф.

Опыт показывает, что схематизация гидрографов по треугольнику применима лишь для остроконечных дружных и непродолжительных половодий рек Заволжья и Казахстана и ливневых паводков. Поэтому большое распространение получили методы нелинейной схематизации — по параболическим кривым и кривым распределения.

Д. Л. Соколовский предложил схематизировать одновершинные гидрографы весеннего половодья и дождевых паводков по параболическим кривым, выраженным уравнениями:

для подъема

$$Q_t = Q_{max}\left(\frac{t}{t_п}\right)^m, \tag{8.8}$$

для спада

$$Q_t = Q_{max}\left(\frac{t_{сп}-t}{t_{сп}}\right)^n, \tag{8.9}$$

где Q_t — расход на подъеме через t единиц времени от начала подъема и на спаде через t единиц времени после пика паводка; $t_п$ и $t_{сп}$ — продолжительность подъема и спада паводка; m и n — показатели степени кривой подъема и спада; Q_{max} — максимальный расход.

Параметры определяются: Q_{max} — по одной из формул, приведенных выше; $m=n=2$ — для весенних половодий; $m=2$ и $n=3$ — для дождевых паводков.

Продолжительность подъема $t_п$ для дождевых паводков приравнивается времени добегания пика паводка τ, которое равно

$$\tau = \frac{L}{3{,}6v_п} \text{ час.},$$

где L — длина реки от наиболее удаленной точки бассейна до замыкающего створа в *км*; $v_п$ — средняя скорость добегания пика паводка, равная $v_п=0{,}7v_{max}$, где v_{max} — средняя по сечению скорость в расчетном створе, соответствующая максимальному расходу, значение которой определяется известными методами. Продолжительность спада дождевого паводка определяется из соотношения $\gamma=\frac{t_{сп}}{t_п}$, т. е. $h_{сп}=\gamma t_п$. Значения γ принимаются по табл. 7.21.

Для весеннего половодья продолжительность подъема может быть определена по формуле С. Н. Боголюбова

$$t_п = t_с + \frac{L}{v} \text{ сутки}, \tag{8.10}$$

где $t_с$ — продолжительность схода основной массы снега, значе-

ния которой установлены по районам (табл. 8.4); v — скорость продвижения половодья при пике, равная от 56 *км/сутки* (0,64 *м/сек*) для заболоченных рек до 108 *км/сутки* (1,25 *м/сек*) для обычных равнинных рек.

Таблица 8.4

Значения t_c в сутках для рек СССР

Степные районы Заволжья и Предкавказье . . .	1,5 2
Центральные районы ЕТС и Ленинградская область	4
Северные районы	5
Реки с заболоченными бассейнами	6

Продолжительность спада половодья определяется по равенству $t_{сп}=\gamma t_п$, в котором $\gamma=2{,}0$ для обычных рек и $\gamma=3{,}0$ для рек с большими поймами или заболоченными бассейнами.

Значения $t_п$, $t_{сп}$ и общей продолжительности весеннего половодья T в зависимости от длины водотока L *км* можно установить по табл. 8.5, составленной Боголюбовым при более строгих значениях m, n и γ.

Пример 8.2. Вычислить по формулам (8.8) и (8.9) и построить гидрограф 1%-ной обеспеченности половодья р. Мги у д. Горы (Ленинградская обл.).

Исходные данные: площадь водосбора р. Мги у д. Горы $F=709$ *км*^{2}, длина $L=68$ *км*, максимальный расход половодья 1%-ной обеспеченности, вычисленный по формуле (7.30′),

$$Q_{\max\,1\%}=204\ м^3/сек.$$

Сначала по табл. 8.5 установим $t_п=4{,}7$ суток и $t_{сп}=16$ суткам.

Затем по формулам (8.8) и (8.9) определим ежедневные расходы воды за период весеннего половодья:

Для подъема: 1-й день от начала половодья

$$Q_1=204\left(\frac{1}{4{,}7}\right)^2=204\cdot 0{,}0453=9{,}24\ м^3/сек,$$

2-й день от начала половодья

$$Q_2=204\left(\frac{2}{4{,}7}\right)^2=204\cdot 0{,}18=36{,}7\ м^3/сек.\ \text{и т. д.}$$

Для спада: 1-й день от пика

$$Q_1=204\left(\frac{16-1}{16}\right)^2=204\cdot 0{,}880=179\ м^3\ сек,$$

2-й день от пика

$$Q_2=204\left(\frac{16-2}{16}\right)^2=204\cdot 0{,}765=156\ м^3/сек\ \text{и т. д.}$$

Ежедневные расходы воды, вычисленные по этим формулам для всех остальных дней половодья, приведены в табл. 8.6. Гидрограф 1%-ной обеспеченности, построенный по данным этой таблицы, изображен на рис. 8.4.

Таблица 8.5

Продолжительность половодья T, периода подъема $t_п$ и спада $t_{сп}$ (в сутках) расчетного года рек Европейской территории СССР

Длина водотока L км	Северный лесной район			Предуралье			Ленинградская область			Подмосковье			Донской и лесостепной районы Заволжья			Степное Заволжье		
	T	$t_п$	$t_{сп}$	T	$t_п$	$t_{сп}$	T	$t_п$	$t_{сп}$	T	$t_п$	$t_{сп}$	T	$t_п$	$t_{сп}$	T	$t_п$	$t_{сп}$
20	16,1	5,2	10,9	22,5	5,2	17,3	19,1	4,3	14,9	13,3	4,2	9,1	11,6	4,2	7,4	5,1	1,7	4,4
40	16,5	5,4	11,1	23,2	5,4	17,8	19,7	4,4	15,3	13,8	4,4	9,4	12,2	4,4	7,8	5,7	1,9	4,8
60	17,0	5,6	11,4	23,8	5,6	18,2	20,3	4,6	15,7	14,2	4,6	9,6	12,7	4,6	8,1	7,2	2,1	5,1
80	17,5	5,7	11,8	24,5	5,7	18,8	21,0	4,7	16,3	14,7	4,7	10,0	13,3	4,7	8,6	7,8	2,2	5,6
100	17,9	5,9	12,0	25,2	5,9	19,3	21,7	4,9	16,8	15,1	4,9	10,2	13,9	4,9	9,0	8,4	2,4	6,0
125	18,5	6,2	12,3	26,0	6,2	19,8	22,5	5,2	17,3	15,7	5,2	10,5	14,6	5,2	9,4	9,1	2,7	6,4
150	19,0	6,4	12,6	26,8	6,4	20,4	23,3	5,4	17,9	16,2	5,4	10,8	15,3	5,4	9,9	9,8	2,9	6,9
175	19,6	6,6	13,0	27,3	6,6	20,7	24,3	5,6	18,7	16,9	5,6	11,3	16,0	5,6	10,4	10,5	3,1	7,4
200	20,2	6,9	13,3	28,5	6,9	21,6	25,1	5,9	19,2	17,5	5,9	11,6	16,8	5,9	10,9	11,3	3,4	7,9
250	21,4	7,3	14,1	30,2	7,3	22,9	26,6	6,3	20,3	18,6	6,3	12,3	18,7	6,3	11,9	12,7	3,8	8,9
300	22,6	7,8	14,8	31,9	7,8	24,1	28,4	6,8	21,6	19,8	6,8	13,0	19,7	6,8	12,9	14,2	4,3	9,9
350	23,6	8,2	15,4	33,6	8,2	25,4	30,1	7,2	22,9	21,0	7,2	13,8	21,0	7,2	13,8	15,5	4,7	10,8
400	24,9	8,7	16,2	35,2	8,7	26,5	31,7	7,7	24,0	22,1	7,7	14,4	22,6	7,7	14,9	17,1	5,2	11,9
450	26,1	9,2	16,9	36,9	9,2	27,7	33,4	8,2	25,2	23,3	8,2	15,1	24,1	8,2	15,9	18,6	5,7	12,9
500	27,2	9,6	17,6	38,5	9,6	29,9	35,0	8,6	26,4	24,4	8,6	15,8	25,5	8,6	16,9	20,0	6,1	13,9
600	29,5	10,6	18,9	41,8	10,6	31,2	38,4	9,6	28,8	26,7	9,6	17,1	28,4	9,6	18,8	22,9	7,1	15,8
700	31,8	11,5	20,3	45,2	11,5	33,7	41,7	10,5	31,2	29,0	10,5	18,5	31,3	10,5	20,8	25,8	8,0	17,8

Таблица 8.6

Ежедневные расходы воды в $м^3/сек$

р. Мга — д. Горы

День от начала подъема половодья				Пик	День спада от пика								
1-й	2-й	3-й	4-й		1-й	2-й	3-й	5-й	7-й	9-й	11-й	13-й	15-й
9,24	36,7	83,5	147	204	179	156	135	96	64,5	39,0	20,0	9,7	7,8

Г. А. Алексеев применил для схематизации одномодальных гидрографов весеннего половодья и дождевых паводков уравнение кривой распределения Гудрича и разработал метод определения его параметров. Последний вариант этого метода принят в Указаниях СН 356-66 для расчета гидрографов стока половодья неизученных рек.

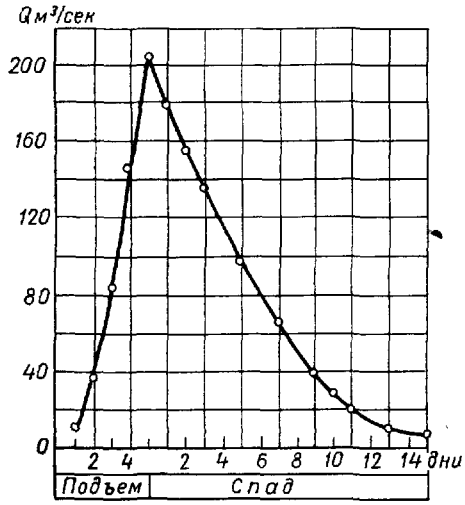


Рис. 8.4. Гидрограф половодья 1%-ной обеспеченности р. Мги у д. Горы.

Расчетное уравнение гидрографа имеет общий вид

$$y = 10^{-a\frac{(1-x)^2}{x}} \qquad (8.11)$$

или в расходах

$$Q_i = \tilde{Q}_{\max p} \cdot 10^{-a\frac{(1-x)^2}{x}}, \qquad (8.11')$$

где $y = \dfrac{Q_i}{\tilde{Q}_{\max p}}$ — ординаты расхода воды расчетного гидрографа Q_i, выраженные в долях от среднего суточного максимального расхода воды заданной обеспеченности $\tilde{Q}_{\max p}$; $x = \dfrac{t_i}{t_п}$ — абсциссы расчетного гидрографа, выраженные в долях от условной продолжительности подъема половодья $t_п$; a — параметр, характеризующий форму гидрографа и зависящий от коэффициента несимметричности половодья k_s или, как было принято раньше Алексеевым, от коэффициента формы гидрографа λ, т. е. $a = \psi(k_s)$ или $a = f(\lambda)$ (табл. 8.7). Из таблицы видно, что каждому значению параметра k_s соответствует определенная величина λ, так как $\lambda = f'(k_s)$.

Таблица 8.7

Значения параметра $a=\psi(k_s)=f(\lambda)$

k_s . . .	0,19	0,23	0,26	0,29	0,31	0,33	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44
λ	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,3	1,5	1,9	2,6
a	0,21	0,32	0,46	0,62	0,80	1,01	1,24	1,52	2,11	3,22	5,11	9,41

Значение коэффициента несимметричности k_s определяется по гидрографам стока рек-аналогов по формуле

$$k_s = \frac{h_п}{h}, \tag{8.12}$$

где $h_п$ — слой стока за период подъема половодья в *мм*; h — суммарный слой стока половодья в *мм*.

При определении $h_п$ средний суточный расход пика половодья включается в размере половины.

Для расчета гидрографов редких повторяемостей значения k_s принимаются по наиболее высоким паводкам рек-аналогов и выбираются из таблиц соответствующего тома монографий «Ресурсы поверхностных вод СССР».

Коэффициент формы гидрографа λ может быть установлен по формуле

$$\lambda = \frac{\widetilde{Q}_{\max p} t_п}{W_p} = \frac{\widetilde{Q}_{\max p} t_п}{1000 h_p F}, \tag{8.13}$$

где W_p — объем паводочного стока обеспеченностью p, остальные параметры те же, что и в формулах (8.11′) и (8.12).

Условная продолжительность подъема половодья $t_п$ определяется по приложению XXX в зависимости от k_s и коэффициента дружности половодья $k_д$. Значение $k_д$ определяется по равенству

$$k_д = \frac{\widetilde{q}_{\max p}}{h_p}, \tag{8.14}$$

где $\widetilde{q}_{\max p} = \dfrac{\widetilde{Q}_{\max p} \cdot 1000}{F}$ — модуль среднего суточного расчетного максимального расхода воды заданной обеспеченности $p\%$ в *л/сек* с 1 *км*^{2}; h_p — расчетный слой половодья заданной обеспеченности $p\%$ в *мм*.

Значение $\widetilde{Q}_{\max p}$ определяется по мгновенному максимуму, согласно выражению (8.4). Кроме того, $t_п$ в сутках можно получить из уравнения (8.13) по равенству

$$t_п = \frac{W_p \lambda}{86\,400 \widetilde{Q}_{\max p}} = \frac{h_p F \lambda}{86{,}4 \widetilde{Q}_{\max p}}, \tag{8.15}$$

где $\lambda = f'(k_s)$.

Таблица 88

Относительные координаты гидрографа половодья $x = \frac{t_i}{t_п}$ и $y = \frac{Q_i}{Q_p}$ при разных коэффициентах несимметричности гидрографа k_s

x	Значения y при значениях k_s															
	0,19	0,23	0,26	0,29	0,31	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44
0,1	0,023	0,002	—	—	—	—	—	—	—	-	—	-	—	—	—	—
0,2	0,21	0,091	0,034	0,011	0,003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,3	0,45	0,29	0,18	0,099	0,050	0,022	0,009	0,003	0,001	—	—	—	—	-	—	—
0,4	0,66	0,51	0,39	0,28	0,19	0,12	0,076	0,043	0,024	0,013	0,003	—	—	—	—	—
0,5	0,78	0,69	0,59	0,49	0,40	0,31	0,24	0,18	0,13	0,088	0,039	0,015	0,005	0,002	-	—
0,6	0,88	0,82	0,75	0,69	0,61	0,54	0,47	0,39	0,33	0,27	0,18	0,12	0,066	0,035	0,017	0,004
0,7	0,94	0,91	0,87	0,83	0,79	0,74	0,69	0,64	0,59	0,64	0,43	0,34	0,26	0,19	0,14	0,062
0,8	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,84	0,81	0,78	0,72	0,66	0,59	0,52	0,46	0,34
0,9	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,84	0,79
1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,94	0,93	0,91	0,89	0,87	0,82
1,2	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,85	0,80	0,76	0,70	0,65	0,60	0,49
1,3	0,97	0,95	0,93	0,91	0,88	0,85	0,82	0,78	0,75	0,71	0,64	0,56	0,48	0,41	0,34	0,22

λ	Значения y при значениях k_s															
	0,19	0,23	0,26	0,29	0,31	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44
1,4	0,95	0,92	0,89	0,85	0,81	0,77	0,72	0,67	0,62	0,57	0,48	0,38	0,30	0,23	0,17	0,084
1,5	0,92	0,88	0,84	0,79	0,74	0,68	0,62	0,56	0,50	0,44	0,34	0,25	0,17	0,12	0,075	0,027
1,6	0,90	0,85	0,79	0,73	0,66	0,59	0,52	0,46	0,39	0,34	0,23	0,15	0,092	0,054	0,030	0,008
1,7	0,87	0,81	0,74	0,66	0,59	0,51	0,44	0,37	0,30	0,25	0,15	0,089	0,047	0,024	0,011	0,002
1,8	0,84	0,77	0,69	0,60	0,52	0,44	0,36	0,29	0,23	0,18	0,10	0,050	0,023	0,010	0,004	—
1,9	0,81	0,73	0,64	0,55	0,46	0,37	0,29	0,23	0,17	0,13	0,063	0,028	0,011	0,004	0,001	—
2,0	0,78	0,69	0,59	0,49	0,40	0,31	0,24	0,18	0,13	0,088	0,039	0,015	0,005	0,002	—	—
2,2	0,73	0,61	0,50	0,40	0,30	0,22	0,15	0,10	0,066	0,042	0,014	—	—		—	—
2,4	0,67	0,54	0,42	0,32	0,22	0,15	0,096	0,058	0,034	0,019	0,005		—	—	—	—
2,6	0,62	0,48	0,35	0,25	0,16	0,10	0,060	0,032	0,017	0,008	0,002	—	—	—	—	—
2,8	0,57	0,42	0,29	0,19	0,12	0,068	0,036	0,018	0,008	0,004	0,001	—	—	—	—	—
3,0	0,53	0,37	0,24	0,15	0,086	0,045	0,022	0,010	0,004	0,002	—	—	—	—	—	—
3,5	0,43	0,26	0,15	0,079	0,037	0,016	0,008	0,002	—	—	—	—	—	—	—	—
4,0	0,34	0,19	0,092	0,041	0,016	0,005	0,002	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,0	0,21	0,091	0,034	0,011	0,003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,0	0,13	0,044	0,012	0,003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,0	0,052	0,010	0,002	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

По значению коэффициента несимметричности гидрографа k_s находятся значения относительных координат гидрографа половодья x и y (табл. 8.8).

Абсолютные значения ординат расчетного гидрографа находят, умножая относительные значения $y=\dfrac{Q_i}{\tilde{Q}_{\max p}}$ на величину $\tilde{Q}_{\max p}$.

Абсолютные значения абсцисс расчетного гидрографа половодья t_i находят, умножая их относительные значения $x=\dfrac{t_i}{t_п}$ на величину $t_п$.

Расчетный гидрограф стока половодья строится по полученным соответственным значениям t_i и Q_i.

Таким образом, для построения расчетного гидрографа неисследованной реки изложенным методом необходимо знать мгновенный максимальный расход воды $Q_{\max p}$ (вычисляется рассмотренными методами), коэффициент несимметричности паводка k_s (принимается по реке-аналогу) и слой паводочного стока h_p (вычисляется по $\bar{h}$, C_v и C_s изложенным методом).

Порядок расчета гидрографов поясним на примерах.

Пример 8.3. Построить гидрограф весеннего половодья для р. Улькен-Дамбы по следующим данным: $F=5140$ *км*^{2}, $L=133$ *км*, $I=1{,}16\%$, $\tilde{Q}_{\max 1\%}=1300$ *м*^{3}/*сек*, $h_{1\%}=92$ *мм*.

По аналогии с соседними изученными реками принимаем $k_s=0{,}38$, при котором, согласно табл. 8.7, $a=2{,}11$ и $\lambda=1{,}3$.

Коэффициент дружности половодья $k_д$ определяем по формуле (8.14)

$$k_д=\frac{1300\cdot 10^3}{5140\cdot 92}=2{,}74.$$

Пользуясь приложением XXX при $k_s=0{,}38$ и $k_д=2{,}74$, получим условную продолжительность подъема половодья $t_п=5$ суток или по формуле (8.15) $t_п=4{,}7\approx 5$ суток.

Из табл. 8.8 выписываем относительные значения текущих координат расчетного гидрографа $x_i=\dfrac{t_i}{t_п}$ и $y_i=\dfrac{Q_i}{Q_{\max p}}$, соответствующие установленному коэффициенту несимметрячности $k_s=0{,}38$ или коэффициенту формы гидрографа $\lambda=1{,}30$. Затем, умножая текущие x_i и y_i на вычисленные $t_п$ и $Q_{\max 1\%}$, получим абсолютные значения текущих абсцисс и ординат расчетного гидрографа $t_i=x_i t_п$ и $Q_i=y_i Q_{\max 1\%}$.

Так, например, по табл. 8.8 при $k_s=0{,}38$ относительные координаты первой точки гидрографа равны: $x_1=0{,}4$ и $y_1=0{,}013$; пятой — $x_5=0{,}8$ и $y_5=0{,}78$; седьмой — $x_7=1{,}0$ и $y_7=1{,}0$; десятой — $x_{10}=1{,}3$ и $y_{10}=0{,}71$ и т. д.

Удобнее свести вычисления в таблицу (табл. 8.9). Гидрограф строится по абсолютным значениям t, *сут* и Q_i.

Пример 8.4. Вычислить координаты гидрографа дождевого паводка р. Зеи у с. Бомнак ($F=28\,200$ *км*^{2}) по характеристикам выдающегося паводка, прошедшего здесь в первой половине июля 1953 г.

Таблица 8 9

Относительные (x_i и y_i) и абсолютные (Q_i и t_i) координаты расчетного гидрографа весеннего половодья р. Улькеи-Дамды

$x_i=\frac{t_i}{t_п}$	$y_i=\frac{Q_i}{Q_{max\,1\%}}$	$t_i=x_i\cdot 5$	$Q_i=y_i\cdot 1300$	$x_i=\frac{t_i}{t_п}$	$y_i=\frac{Q_i}{Q_{max\,1\%}}$	$t_i=x_i\cdot 5$	$Q_i=y_i\cdot 1300$
0,4	0,013	2,0	16,9	1,5	0,44	7,5	572
0,5	0,088	2,5	115	1,6	0,34	8,0	442
0,6	0,27	3,0	351	1,7	0,25	8,5	325
0,7	0,54	3,5	702	1,8	0,18	9,0	234
0,8	0,78	4,0	1015	1,9	0,13	9,5	169
0,9	0,95	4,5	1240	2,0	0,088	10	115
1,0	1,00	5,0	1300	2,2	0,042	11	54,6
1,1	0,96	5,5	1250	2,4	0,019	12	24,7
1,2	0,85	6,0	1100	2,6	0,008	13	10,4
1,3	0,71	6,5	922	2,8	0,004	14	5,2
1,4	0,57	7,0	740	3,0	0,002	15	2,6

Характеристики этого паводка выписываем из монографии «Ресурсы поверхностных вод СССР» Максимальный средний суточный расход паводка $\widetilde{Q}_{max}=10\,300$ *м³/сек*, общий слой стока за паводок $h=134$ *мм*, слой стока за период подъема $h_п=55{,}9$ *мм*, коэффициент несимметричности паводка $k_s=0{,}42$

Сначала определим условную продолжительность подъема паводка t Ее можно получить по уравнению (8 15), для чего нужно знать параметр λ, и по приложению XXX, для чего нужно вычислить значение $k_д$

По формуле (8 14) $k_д=\frac{10\,300\cdot 1000}{28\,200\cdot 134}=2{,}73$

При значениях $k_s=0{,}42$ и $k_д=2{,}73$ по приложению XXX получим $t_п=8$ суток

Таблица 8 10

Относительные (x_i и y_i) и абсолютные (t_i и Q_i) координаты расчетного гидрографа дождевого паводка р. Зеи у с. Бомиак

$x_i=\frac{t_i}{t_п}$	$y_i=\frac{Q_i}{Q_{max}}$	$t_i=x_i\cdot 8$	$Q_i=y_i\cdot 10\,300$	$x_i=\frac{t_i}{t_п}$	$y_i=\frac{Q_i}{Q_{max}}$	$t_i=x_i\cdot 8$	$Q_i=y_i\cdot 10\,300$
0,5	0,002	4,0	20	1,3	0,41	10,4	4250
0,6	0,036	4,8	371	1,4	0,23	11,2	2370
0,7	0,19	5,6	1 960	1,5	0,12	12,0	1240
0,8	0,52	6,4	5 360	1,6	0,054	12,8	556
0,9	0,87	7,2	8 960	1,7	0,024	13,6	247
1,0	1,00	8,0	10 300	1,8	0,010	14,4	103
1,1	0,89	8,8	9 170	1,9	0,004	15,2	41
1,2	0,65	9,6	6 700	2,0	0,002	16,0	21

В табл. 8.7 значению $k_s=0{,}42$ соответствуют $\lambda=1{,}9$ и $a=5{,}11$.
При $\lambda=1{,}9$ по формуле (8.15) получим такое же значение

$$t_п = \frac{134 \cdot 28\,200 \cdot 1{,}9}{86{,}4 \cdot 1030} = 8 \text{ суток}.$$

Затем из табл. 8.8 выписываем относительные координаты расчетного гидрографа x_i и y_i, соответствующие $k_s=0{,}42$. Умножая x_i на $t_п=8$ суток и y_i на $\widetilde{Q}_{max}=10\,300$ $м^3/сек$, получим абсолютные значения текущих координат расчетного гидрографа дождевого паводка р. Зеи у с. Бомнак. Эти вычисления помещены в табл. 8.10, по данным которой строится гидрограф.

§ 8.3. ГЕНЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ГИДРОГРАФОВ

Этот метод отражает общий процесс формирования паводка и заключается в последовательном суммировании элементарных объемов (расходов) стока, сформировавшихся в разных частях бассейна и одновременно проходящих через створ измерений. Он учитывает ход интенсивности дождя или водоотдачи и добегание воды по склонам и русловой сети, т. е. индивидуальные характеристики бассейна. Этот метод применим к большим и малым бассейнам и позволяет получить как простые одномодальные, так и сложные гидрографы дождевых паводков и весеннего половодья без заранее принятой схематизации.

До настоящего времени генетический метод не имеет еще массового практического применения из-за недостаточной разработанности простых и надежных методов построения изохрон и определения площадей одновременного стекания, учета изменения потерь и хода водоотдачи, без чего расчет остается трудоемким. Однако метод изохрон наглядно иллюстрирует процесс формирования паводка на речном бассейне при выпадении дождей или снеготаянии и добегании стока по склонам и русловой сети, а поэтому имеет большой учебно-познавательный интерес. Он плодотворно используется при разработке формул для расчета максимальных расходов воды, отражающих в упрощенном виде формирование максимального расхода на речном бассейне как максимальной ординаты гидрографа паводка.

Для упрощения расчетов применяется метод стационарных изохрон, допускающий постоянные значения скоростей стекания и добегания в течение формирования всего паводка.

Текущие расходы паводка по генетической формуле вычисляются, как известно, так:

к концу первой единицы времени $Q_1=h_1f_1$,

к концу второй единицы времени $Q_2=h_2f_1+h_1f_2$

и вообще к концу i-той единицы времени по формуле (7.15).

$$Q_i=h_if_1+h_{i-1}f_2+\ \ldots\ +h_1f_i=\sum_{k=1}^{k=i}h_kf_{i-k+1},$$

где h_1, h_2, ..., h_i — единичные порции дождя или водоотдачи при снеготаянии за вычетом потерь стока; f_1, f_2, ..., f_i — единичные площади или площади одновременного стекания, ограниченные двумя смежными изохронами.

Для расчета гидрографа генетическим способом необходимо иметь:

а) ход дождя или водоотдачи при снеготаянии;

б) крупномасштабный план речного бассейна с изображением рельефа в горизонталях и гидрографической сетью;

в) сведения о скоростях стекания (добегания) по склонам и русловой сети.

График хода дождя строится по таблицам расшифровки плювиограмм, ход водоотдачи при снеготаянии — по гидрографам стока весеннего половодья с экспериментальных площадок или малых водосборов (бассейнов-индикаторов), в которых вследствие их малости ход стока не искажен влиянием руслового регулирования и может быть принят как ход водоотдачи. Вычисление хода водоотдачи при снеготаянии можно производить существующими методами.

Расчетные скорости устанавливаются по данным наблюдений на бассейнах-аналогах или по рекомендациям отдельно для русловой сети, включая овраги, балки, лощины, и для склонов.

Например, расчетная скорость по русловой сети $\overline{v}_р$ может быть принята как средняя скорость за период подъема паводка и равной 0,4—0,5v_{max} для суходолов и малых рек и 0,6—0,7v_{max} для средних и больших рек с предпаводочным стоком. Максимальная скорость v_{max}, отвечающая максимальному расходу в створе, определяется по данным наблюдений или вычисляется по известным формулам.

Ориентировочные значения средней скорости добегания по руслу $\overline{v}_р$ для построения изохрон могут быть приняты по табл. 8.11.

Таблица 8.11

Ориентировочные значения $v_р$

Характер реки и рельефа	Суходольные и малые водотоки	Средние и большие реки
Обычные равнинные	0,75—1,0	1,0—1,25
Предгорные или с холмистым рельефом	1,0—1,25	1,25—1,5

Значения склоновых расчетных скоростей $v_{ск}$ могут быть приняты равными 0,25—0,50 *м/сек* для дождевых паводков и 0,05—0,10 *м/сек* для весенних половодий.

Дата	Часы	h мм/2 часа	h_k	$\frac{f_i}{F}$	0,123	0,252	0,136	0,068	0,058	0,050	0,046
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
28/III	9—11	0,326	0,228	0,123	0,028						
	11—13	1,538	1,07	0,252	0,132	0,057					
	13—15	3,072	2,14	0,136	0,263	0,272	0,031				
	15—17	3,523	2,47	0,068	0,304	0,538	0,146	0,015			
	17—19	0,513	0,357	0,058	0,044	0,622	0,291	0,073	0,013		
	19—21	—	—	0,050	—	0,090	0,336	0,145	0,062	0,011	
	21—23	—	—	0,046		—	0,049	0,168	0,124	0,054	0,010
	23—1	—	—	0,042			—	0,024	0,143	0,107	0,049
29/III	1—3	—	—	0,039				—	0,021	0,124	0,092
	3—5	—	—	0,035					—	0,018	0,114
	5—7	—	—	0,030						—	0,016
	7—9	—	—	0,026	—						—
	9—11	0,565	0,396	0,024	0,049	—					
	11—13	8,580	6,01	0,022	0,739	0,100	—				
	13—15	9,409	8,58	0,018	1,055	1,514	0,055	—			
	15—17	5,462	3,82	0,015	0,470	2,162	0,817	0,027	—		
	17—19	1,547	1,08	0,010	0,133	0,962	1,167	0,408	0,023	—	
	19—21	0,064	0,045	0,006	0,006	0,272	0,518	0,583	0,348	0,020	—
	21—23	—	—		—	0,011	0,147	0,260	0,498	0,300	0,018
	23—1	—	—			—	0,006	0,072	0,221	0,428	0,276
30/III	1—3	—	—				—	0,003	0,063	0,191	0,397
	3—5	—	—					—	0,003	0,054	0,176
	5—7	—	—		—		—		—	0,002	0,050

Потери паводочного стока в этом случае учитываются обычно объемным коэффициентом стока α, значения которого устанавливаются по аналогии или назначаются по существующим рекомендациям (например, см. табл. 7.19)

Вычисления гидрографа стока по формуле (7.15) сводятся в таблицу, подобную табл. 8.12.

Пример 8.5. Вычислить и построить гидрограф стока весеннего половодья малого водотока с площадью водсбора $F=42{,}4$ *км*^{2} и длиной по наибольшему тальвегу $L=9{,}8$ *км*, пользуясь генетической формулой стока (7.15).

На рис. 8.5 приведена схема бассейна с построенными на нем изохронами при расчетном интервале времени $\tau_0=2$ *час*. В соответствии с данными наблюдений во время весеннего снеготаяния на малых бассейнах данного района расчетная скорость руслового добегания принята $v_р=0{,}7$ *м/сек*, а склонового $v_{ск}=0{,}08$ *м/сек*. Учтено также изменение скоростей по длине склонов от наименьших в приводораздельных зонах до наибольших в прирусловых. Как видно из рис. 8.5 разницу скоростей добегания хорошо отражают расстояния между русловыми и склоновыми изохронами. Единичные площади, выраженные

Таблица 8.12

графа весеннего стока

0,042	0,039	0 035	0,030	0,026	0,024	0,022	0,018	0,015	0,010	0,006	y_i *мм/2 часа*	Q_i *м³/сек*
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
											0,028	0,16
											0,189	*1,11*
											0,566	3,33
											1,003	5,89
											1,043	6,14
											0,644	3,80
											0,405	2,39
0,010											0,333	1,96
0,045	0,009										0,291	1,72
0,090	0,042	0,008									0,272	1,60
0,104	0,084	0,037	0,007								0,248	1,46
0,015	0,096	0,075	0,032	0,006							0,224	1,32
—	0,014	0,086	0,064	0,028	0,005						0,246	1,45
	—	0,012	0,074	0,056	0,026	0,005					1,012	5,95
		—	0,011	0,064	0,051	0,024	0,004				2,778	16,4
			—	0,009	0,059	0,047	0,019	0,003		3,613		21,3
				—	0,009	0,054	0,034	0,016	0,002		2,808	16,6
					—	0,008	0,044	0,032	0,011	0,001	1,843	10,9
—						—	0,006	0,037	0,021	0,006	1,304	7,68
0,017	—						—	0,005	0,025	0,013	1,063	6,27
0,252	0,015	—						—	0,004	0,015	0,940	5,53
0,361	0,234	0,014	—						—	0,002	0,844	4,97
0,160	0,335	0,210	0,012	—						—	0,769	4,53

в долях от общей площади бассейна, представлены в табл. 8.13, а их распределение — на рис. 8.5.

Таблица 8.13

Единица времени (2 часа)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Единичные площади	0,123	0,252	0,136	0,068	0,058	0,050	0,046	0,042	0,039
Единица времени (2 часа)	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Единичные площади	0,035	0,030	0,026	0,024	0,022	0,018	0,015	0,010	0,006

Расчет интенсивности снеготаяния произведен по данным наблюдений за ходом метеорологических элементов методом теплового баланса П. П. Кузьмина по 2-часовым интервалам времени ($\tau_p = 2$ час.)

Ход водоотдачи из снега определялся с помощью кривой обеспеченности запасов воды в снеге, построенной по данным наблюдений в бассейне и

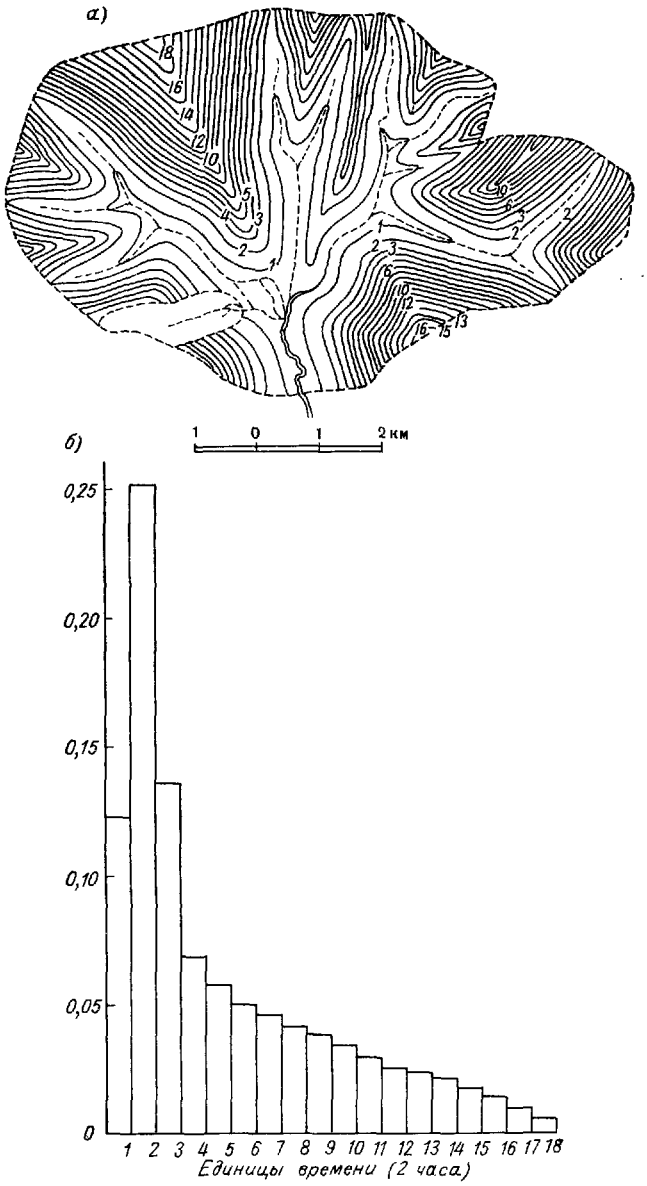


Рис. 8.5. Схема изохрон добегания весеннего стока (*а*) и график распределения единичных площадей (*б*).

вычисленных интенсивностей снеготаяния по схеме А. Г. Ковзеля (рис. 8.6).

Потери талого стока учитываются установленным по материалам наблюдений суммарным коэффициентом стока $\alpha=0{,}7$, на величину которого умножается интенсивность водоотдачи из снега.

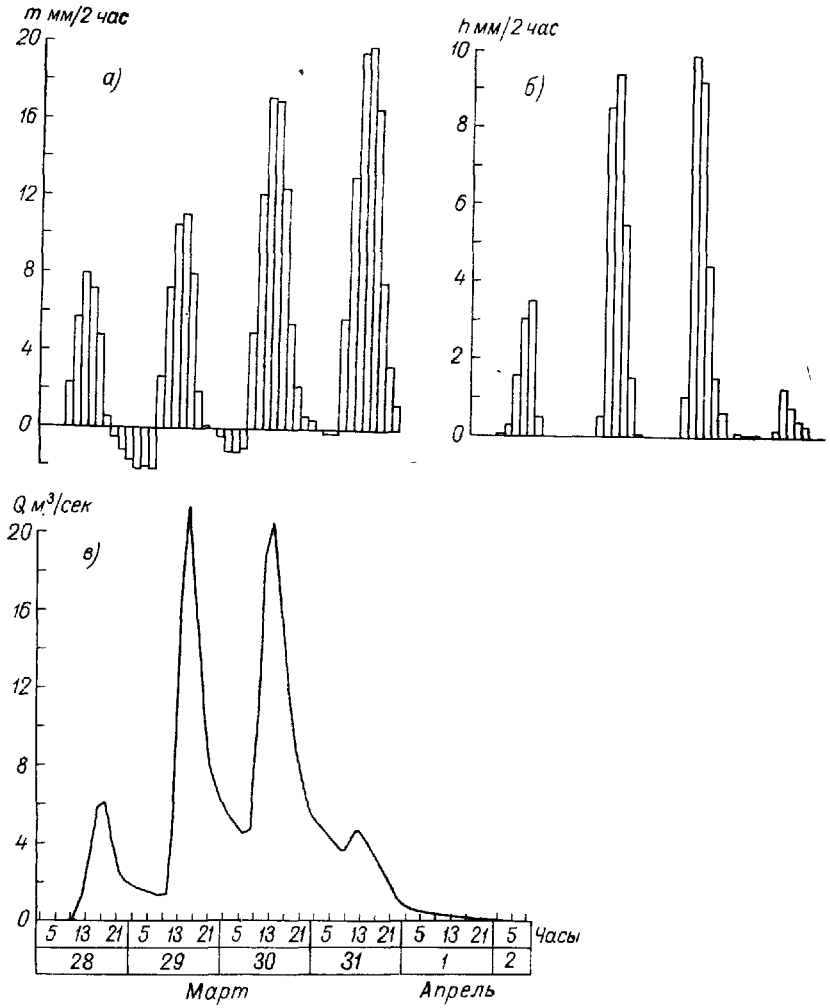


Рис. 8.6. Совмещенные графики снеготаяния (*а*), водоотдачи (*б*) и стока (*в*).

Вычисления ординат гидрографа стока по формуле (7.15) сведены в табл. 8.12. В графы 1, 2 и 3 записаны дата, последовательные интервалы времени и соответствующие им рассчитанные величины слоя водоотдачи из снега. В графе 4 помещен ход водоотдачи, исправленный на коэффициент стока $\alpha=0{,}7$, а в графе 5 — относительные значения единичных площадей.

В последующих 18 графах таблицы, соответствующих числу единичных площадей водосбора при данной системе изохрон, помещены ординаты гидрографа стока, полученные путем перемножения единичных площадей на слой водоотдачи за каждый интервал времени. Затем сложением величин стока по каждой горизонтальной строке, сдвинутой на интервал времени, получены значения ординат гидрографа стока в миллиметрах за соответствующие интервалы времени (графа 24).

Полученный сток в миллиметрах слоя за каждые 2 часа y_i пересчитывается в расходы воды Q_i *м*^{3}/*сек* по уравнению

$$Q_i = y_i \frac{F}{\tau_0} \cdot 1000, \tag{8.16}$$

где F — площадь водосбора в *км*^{2} (42,2 *км*^{2}); τ_0 — количество секунд в избранном интервале времени (2 часа = 7200 сек.).

При правильном вычислении ординат гидрографа должно соблюдаться равенство итоговых сумм $\Sigma h_к$ (графа 4) и Σy_i (графа 24), которое служит контролем вычислений.

По результатам вычислений (графа 25) построен гидрограф стока (рис. 8.6 *в*).

Пример 8.6. Вычислить гидрограф дождевого паводка малого водотока по генетической формуле стока (7.15).

Исходные данные: схема бассейна, площадь водосбора $F = 16{,}8$ *км*^{2}, длина основного водотока до водораздела $L = 6{,}0$ *км* и сведения о дожде продолжительностью 160 мин. и суммарным слоем осадков $H = 145{,}5$ *мм*.

Принимаем расчетную скорость добегания (среднюю за время подъема паводка) $\overline{v_р} = 1{,}0$ *м/сек* (см. табл. 8.11) и объемный коэффициент стока $\alpha = 0{,}25$.

Вычисляем общее время добегания τ в минутах

$$\tau = 16{,}67 \frac{L}{\overline{v_р}} = 16{,}67 \cdot \frac{6{,}0}{1{,}0} = 100 \text{ мин.}$$

Назначаем расчетную единицу времени $\tau_0 = 10$ мин. При этом расстояние между смежными изохронами $l_0 = 0{,}6$ *км*.

Начиная от расчетного створа по всей гидрографической сети намечаются точки, удаленные друг от друга на 0,6 *км*. Через эти точки с учетом частных водоразделов на схеме бассейна проведены изохроны (рис. 8.7 *а*). По измеренным площадям одновременного стекания f_i, заключенным между смежными изохронами, построен график их распределения (рис. 8.7 *б*)

С учетом принятой расчетной единицы времени $\tau_0 = 10$ мин. расшифрована плювиограмма и вычислены слои осадков h_i за каждые 10 мин., по которым построен хронологический график хода дождя (рис. 8.7 *в*).

Вычисления текущих расходов паводка по 10-минутным интервалам времени сведены в табл. 8.14. В графак 2—17 помещены вычисленные частные объемы полного стока путем перемножения текущих слоев осадков за каждый 10-минутный интервал времени h_i на единичные площади f_i. Сдвижка каждой последующей графы относительно предыдущей на одну строку отражает последовательный ход осадков.

Суммированием частных объемов стока по каждой горизонтальной строке получаем текущие значения полного стока в замыкающем створе (графа 18).

Затем полученные текущие объемы полного стока за 10-минутные интервалы времени пересчитываются в текущие расходы воды Q_i в *м*^{3}/*сек* с учетом коэффициента стока $\alpha = 0{,}25$ по равенству

$$Q_i = 16{,}67 \frac{\sum hf}{\tau_0} \cdot \alpha = 16{,}67 \frac{\sum hf}{10} \cdot 0{,}25 = 0{,}414 \sum hf.$$

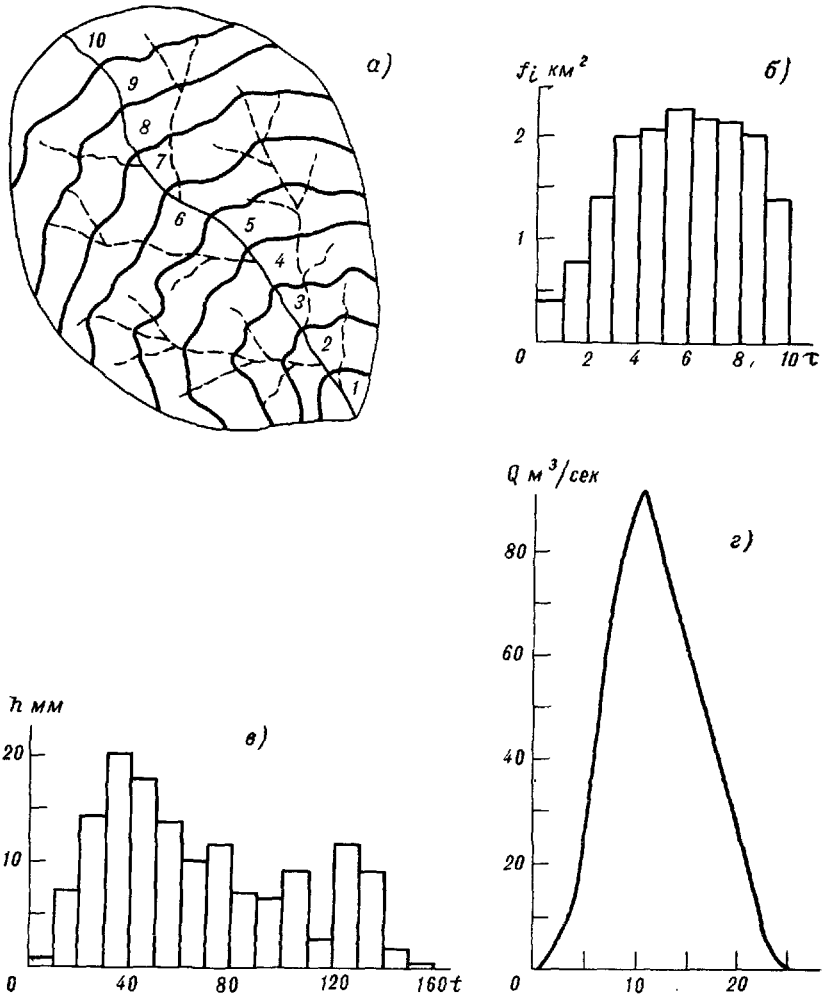


Рис 8.7. Схема бассейна с изохроиами (*а*), график распределения единичных площадей одновременного стекания (*б*), хода осадков (*в*) и гидрограф паводка (*г*).

Контролем вычислений служат равенства:

$$\sum\sum hf \cdot 10^3 = HF \cdot 10^3$$

и

$$\sum Q_i \tau_0 = HF\alpha \cdot 10^3,$$

где $\Sigma\Sigma hf$ — сумма Σhf графы 18; H — суммарный слой осадков за дождь в *мм*; F — общая площадь водосбора в *км*²; ΣQ_i — сумма текущих расходов воды в *м*³/*сек* по графе 19; τ_0 — число секунд в расчетном интервале времени; α — коэффициент стока.

Таблица 8.14

Вычисление расходов дождевого паводка

f_i км²	h_i мм																Σhf	Q_i м³/сек
	0,8	7,3	14,4	20,5	18,0	14,0	10,1	11,8	7,1	6,4	9,3	2,7	1,7	9,2	1,9	0,3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0,41	0,3																0,3	0,13
0,78	0,6	3,0															3,6	1,51
1,43	1,2	5,7	5,9														12,8	5,38
2,00	1,6	10,4	11,2	8,4													31,6	13,3
2,08	1,7	14,6	20,6	16,0	7,4												60,3	25,1
2,28	1,8	15,2	28,8	29,3	14,0	5,7											94,8	39,7
2,20	1,8	16,6	30,0	41,0	25,7	10,9	4,1										130,1	54,6
2,16	1,7	16,1	32,8	42,6	36,0	20,0	7,9	4,8									161,9	68,0
2,04	1,6	15,8	31,7	46,8	37,4	28,0	14,4	9,2	2,9								187,8	78,5
1,42	1,2	14,9	31,1	45,1	41,0	29,1	20,2	16,8	5,5	2,6							207,5	87,0
		10,4	29,4	44,3	39,6	31,9	21,0	23,6	10,2	5,0	3,8						219,2	92,0
			20,4	41,8	38,8	30,8	23,0	24,5	14,2	9,1	7,8	1,1					211,5	88,9
				29,1	36,7	30,2	22,2	26,9	14,8	12,8	13,3	2,1					192,9	81,0
					25,5	28,6	21,8	26,0	16,2	13,3	18,6	3,9	4,8				166,8	70,0
						19,9	20,6	25,5	15,6	14,6	19,3	5,4	9,1	3,8			145,6	61,1
							14,3	24,0	15,3	14,1	21,4	5,6	16,7	7,2	0,8	0,1	132,9	55,8
								16,7	14,5	13,8	20,5	6,2	23,4	13,2	1,5	0,2	117,6	49,3
									10,1	13,0	20,1	5,2	24,6	18,4	2,7	0,4	99,1	41,6
										9,1	19,0	5,8	26,7	19,1	3,8	0,6	85,1	35,7
											13,2	5,5	25,7	21,0	4,0	0,6	69,1	29,0
												3,8	25,3	20,2	4,3	0,7	52,5	22,0
													23,9	19,9	4,2	0,7	40,2	16,9
													16,6	18,8	4,1	0,6	17,6	7,40
														13,1	3,9	0,6	3,3	1,39
															2,7	0,4	0,4	0,17
																	0,0	0,0
																Сумма	2444,5	1018,48

В данном примере: $\Sigma\Sigma hf \cdot 10^3 = 2444{,}5 \cdot 10^3$ $м^3$ и $HF \cdot 10^3 = 2444{,}4 \cdot 10^3$ $м^3$; $\Sigma Q_i = 1018{,}48$ $м^3/сек$; $\tau_0 = 600$ $сек.$; $\alpha = 0{,}25$; $\Sigma Q_i \tau_0 = 1018{,}48 \cdot 600 = 611{,}1 \cdot 10^3$ $м^3$; $HF\alpha \cdot 10^3 = 144{,}5 \cdot 16{,}8 \cdot 0{,}25 \cdot 10^3 = 611{,}1 \cdot 10^3$ $м^3$

По текущим расходам воды Q_i (графа 19) построен гидрограф паводка (рис. 7.26 *г*).

Пример 8.7. Вычислить ординаты гидрографа дождевого паводка р. Кульдур у ст. Известковой ($F = 1080$ $км^2$) методом элементарного паводка.

Известно, что уравнение гидрографа элементарного паводка, или единичного гидрографа, является частным случаем генетической формулы, основанной на теории изохрон, и описывает процесс стекания единичных осадков с элементарных площадей формулой (7.11′). Продолжительность элементарного паводка и его относительные ординаты являются устойчивыми характеристиками данного бассейна.

Чтобы воспользоваться этим методом, нужно иметь: 1) ход водоотдачи или дождя с учетом потерь и 2) кривую распределения стока.

Расчетная водоотдача обычно принимается по ходу стока с малых бассейнов-индикаторов, а также по ходу дождя или снеготаяния с учетом потерь. Кривая распределения — как осредненные ординаты ряда элементарных паводков при наличии наблюдений или по кривым распределения единичных площадей одновременного стекания для неизученных бассейнов. Кроме того, для этой цели может быть использована типизация относительных единичных гидрографов по физико-географическим характеристикам речных бассейнов.

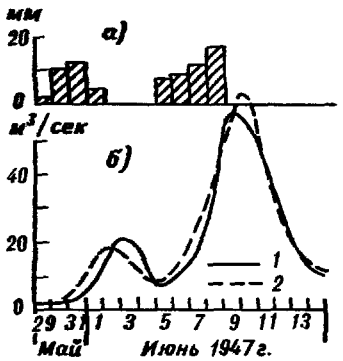


Рис. 8.8. Ход осадков (*а*) и сток (*б*) в бассейне р. Кульдур — ст. Известковая.

1 — наблюденный, *2* — вычисленный гидрографы.

Для решения имеются следующие исходные данные:

1) ход осадков по суткам как среднее значение по наблюдениям двух метеостанций Облучье и Биракан за период 29/V—8/VI (рис. 8.8 *а*);

2) потери учитываются объемным коэффициентом стока α, значение которого установлено по данным наблюдений на р. Кульдур равным 0,35;

3) ординаты кривой распределения стока в долях от общего объема паводка, установленные как средние значения из ряда наблюденных элементарных паводков в створе ст. Известковой;

4) предпаводочный расход, равный 3,0 $м^3/сек$, принят по данным наблюдений.

Вычисление ординат гидрографа сведено в табл. 8.15, аналогичную табл. 8.12 и 8.14. В графах 1 и 2 приведены дата и слой осадков h *мм*, в графах 3—9 — частные слои полного стока. Суммирование их по горизонтали (графы 3—9) дает полный сток в замыкающем створе (графа 10). Текущие средние суточные расходы в створе (графа 11) получены по равенству $Q = 0{,}0116 y_i F\alpha$ $м^3/сек.$, к которым добавлен предпаводочный расход 3,0 $м^3/сек$.

Контролем вычислений служат равенства слоев $\Sigma y_i = \Sigma h_i$ (графы 2 и 10) и объемов стока $\Sigma hF\alpha \cdot 10^3 = \Sigma Q_i 86\,400$ м^3, где ΣQ_i — сумма вычисленных расходов (графа 11) без учета предпаводочного расхода. В графе 12 приведены наблюденные в эти дни расходы.

На рис. 8.8. представлены ход дождя (*а*), вычисленный и наблюденный гидрографы (*б*).

Пример 8.8. На этом примере познакомимся с вычислением гидрографа дождевого паводка с помощью электронно-моделирующего устройства (ЭМУ). Предварительно приведем общие краткие сведения.

Применение ЭМУ в гидрологии основано на аналогии некоторых электри-

Таблица 8.15

Вычисление ординат гидрографа паводка р. Кульдур — ст. Известковая

Дата	h_i мм	Ординаты кривой распределения стока y_i по суткам							Σy_i мм	Q_i м³/сек	
		0,05	0,38	0,24	0,15	0,09	0,06	0,03		вычисл.	наблюд.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
29 V	1,2	0,06							0,06	3,26	3,08
30 V	10,40	0,52	0,46						0,98	7,28	3,80
31 V	11,6	0,58	3,95	0,29					4,82	24,1	5,36
1 VI	4,4	0,22	4,41	2,50	0,18				7,31	34,9	17,2
2 VI	—		1,67	2,78	1,56	0,11			6,13	29,8	22,0
3 VI	—			1,06	1,74	0,93	0,07		3,80	19,6	15,7
4 VI	—				0,66	1,04	0,62	0,04	2,36	13,3	7,70
5 VI	7,4	0,37				0,40	0,70	0,31	1,78	10,8	9,30
6 VI	8,8	0,44	2,81				0,26	0,35	3,86	19,9	18,3
7 VI	11,0	0,55	3,34	1,78				0,13	5,80	28,4	28,4
8 VI	16,2	0,81	4,18	2,11	1,10				8,20	28,9	58,1
			6,16	2,64	1,32	0,66			10,8	50,3	55,8
				3,89	1,65	0,79	0,44		6,77	32,6	44,4
					2,43	0,99	0,53	0,22	4,17	21,2	27,8
						1,46	0,66	0,26	2,38	13,4	18,8
							0,97	0,33	1,30	8,07	14,7
								0,49	0,49	5,14	10,9
$\sum h_i = 71,0$									$\Sigma y_i = 71,0$	$\Sigma = 361,55$	

ческих и гидрологических процессов. В настоящее время имеются специализированные ЭМУ типа ПР-27 и ПР-43, предназначенные для прогноза паводков и расчета неустановившегося движения в руслах рек. Эти же машины могут применяться для расчета гидрографов и максимальных расходов дождевых паводков и весеннего половодья на изученных и неизученных реках. Описание и порядок работы на машине приводятся в инструкции, приложенной к машине, и в ряде работ.

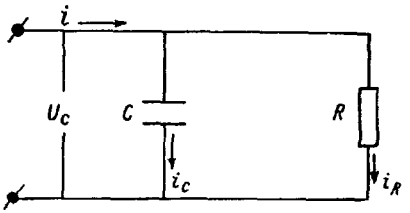


Рис. 8.9. Схема одного RC-элемента.

Решающий блок ЭМУ ПР-27 и ПР-43 представляет собой электрическую цепь из n последовательно соединенных RC-элементов, состоящих из параллельно соединенного активного сопротивления R и емкости C (рис. 8.9.).

Если на вход такой линейной электрической схемы подавать изменяющееся во времени напряжение U_t, то на выходе получим реакцию устройства i_t в виде

$$i_t = \int_0^{t=\tau} U_{t-\tau} P_{n(\tau)}\, d\tau, \qquad (8.17)$$

где $P_{n(\tau)}$ — функция веса системы, представляющая собой реакцию устройства на единичный импульс, поданный на его вход при одинаковых значениях R и

C для каждого элемента, выраженная в виде двухпараметрической функции

$$P_{n(\tau)} = \frac{\tau^{n-1}}{T^n (n-1)!} e^{-\frac{\tau}{T}}, \qquad (8.18)$$

где $T = RC$ — так называемая постоянная времени одного RC-элемента

Формула (8.17) полностью аналогична известной генетической формуле стока, представленной в интегральном виде

$$Q_t = \int_0^{t-\tau} h_{t-\tau} f_\tau \, d\tau, \qquad (8.19)$$

где $h_{t-\tau}$ — приток воды в речную сеть; f_τ — кривая распределения единичных площадей стекания или кривая добегания с водосбора.

Из уравнений (8.17) и (8.19) видно, что расчет при помощи ЭМУ осуществляется по генетической формуле стока. При этом кривая добегания f_τ выражается в виде функции в зависимости от машинных параметров T и n, а величины притока h_t - подаются в машину в виде графика напряжений.

При расчетах гидрографов паводков на ЭМУ величины $h_{t\,эф}$ представляются или в виде средних по водосбору и за единицу времени τ_0 осадков за вычетом потерь или в виде водоотдачи из снега

Для каждого паводка параметры T и n могут быть получены по приближенным зависимостям их от величины времени сдвига $t_{ср}$ центра тяжести эффективных осадков по отношению к максимальному расходу, а также характерному для водосбора коэффициенту формы гидрографа $\gamma = \frac{t_{сп}}{t_п}$, где $t_{сп}$ = время спада гидрографа с учетом срезки грунтового питания, $t_п$ — время подъема; зависимости имеют вид

$$\left.\begin{aligned} TnM &\approx 1{,}30 t_{сд}, \\ n &= f(\gamma). \end{aligned}\right\} \qquad (8.20)$$

Здесь M — машинный масштабный множитель, определяемый по соотношению

$$M = \frac{\tau_0 v}{l_0}, \qquad (8.21)$$

где τ_0 — принятая единица времени в сек; v — скорость движения ленты потенциометра в схеме машины в *мм/сек* (чаще всего устанавливается $v = 2{,}66$ *мм/сек.*); l_0 — величина пробежки ленты в *мм*, соответствующая одной единице масштабного времени (может приниматься равной 5 или 1 *мм*; удобнее расчеты производить при $l_0 = 5$ *мм*).

Величина $t_{сд}$ для водосбора определяется путем анализа совмещенных графиков осадков и стока за прошедшие паводки. Для неизученных водосборов величины $t_{сд}$ могут быть получены по эмпирическим формулам в зависимости от морфометрических и физико-географических характеристик водосборов. Зависимость $n = \psi(\gamma)$ задается в табличном виде (табл. 8.16).

Таблица 8.16

Зависимость $n = \psi(\gamma)$

γ	$> 3{,}5$	2,8–3,5	2,3–2,7	1,8–2,2	1,8
n	2	3	4	5	6

Перейдем теперь к вычислению гидрографа дождевого паводка на ЭМУ ПР-43 для р. Даубихэ — Яковлевка ($F = 5210$ *км²*) по осадкам, выпавшим в мае–июне.

Таблица 8.17

Расчет гидрографа дождевого паводка р. Даубихе — ст. Яковлевка на ЭМУ ПР-43 по материалам наблюдений

Дата	$h_{ср}$ мм	$h_{эф}$ мм	U_h эф	Наблюденные, м³/сек		b_i	Рассчитанные, м³/сек	
				Q_i	$Q_i - Q_0$		$Q_i - Q_0$	Q_i
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Май 27	0,2	—						
28	4,5	—						
29	1,6	—						
30	0,1	—		34,0	0,0			
31				34,0	1,0			
Июнь 1	11,2	—		35,5	7,5			
2	22,5	10,7	57	43,1	18,1	1	5,50	24,5
3	10,7	7,5	40	81,8	58,8	5	27,5	44,5
4	26,6	18,6	100	123	103	20	110	124
5	0,9	0,6	3	176	157	45	247	259
6	2,0	1,4	7	291	274	71	390	400
7	0,5	0,4	2	487	473	82	451	461
8	1,6	1,1	6	444	431	73	401	411
9	0,3	0,2	1	349	338	55	302	312
10	0,6	0,4	2	255	245	37	203	213
11	2,2	1,5	8	193	183	25	137	147
12	0,5	0,4	2	154	144	18	99,0	109
13				119	109	15	82,5	92,5
14				93,5	83,5	13	71,5	81,5
15	3,5	2,5	13	76,2	66,2	11	60,5	70,5
16				63,1	53,1	9	49,5	59,5
17	0,2	0,1	0	54,6	44,6	9	49,5	59,5
18				49,8	39,8	9	49,5	59,5
19				42,0	32,0	8	44,0	54,0
20	0,6	0,4	2	37,4	27,4	6	33,0	43,0
21	2,3	1,6	8	34,0	24,0	4	22,0	33,0
22	0,3	0,2	1	32,1	22,1	5	27,5	37,5
23	3,1	2,2	12	30,1	20,1	6	33,0	43,0
24				28,3	18,3	8	44,0	54,0
25				25,6	15,6	10	55,0	65,0
26				23,9	13,0	10	55,0	65,0
27				26,5	11,0	9	49,5	59,5
28				33,0	10,0	6	33,0	43,0
29				41,0	8,0	4	22,0	32,0
30				39,4	7,0	4	22,0	32,0
Июль 1				32,1	5,0	2	11,0	21,0
2				26,5	4,0	2	11,0	21,0
3				23,9	2,0	2	11,0	21,0
4				21,8	0,0			

Исходные данные:

1) расчетный интервал времени $\tau_0=1$ суткам;

2) средние по водосбору величины суточных осадков $h_{ср}$ (*табл.* 8.17, графа 2);

3) величина $t_{сд}=3$ суткам;

4) коэффициент формы $\gamma=2{,}0$;

5) коэффициент стока $\alpha=0{,}70$; *величина начальных потерь* $H_0=25$ *мм*.

Порядок расчета:

1. Определяем суточные эффективные осадки (табл. 8.17, графа 3) по формуле

$$h_{эф\,i}=h_i\alpha.$$

2. Переводим $h_{эф}$, выраженные в *мм*, в машинные единицы (в вольты) по соотношению

$$U_{M\,эф}=h_{эф}M_h=h_{эф}\cdot 5{,}2\ вольта,$$

где $M_h=\dfrac{100}{h_{эф\,max}}$ — масштабный множитель; 100 *в* — максимально допустимое напряжение в машине; $h_{эф\,max}$ — максимальный слой эффективных осадков за единицу времени τ_0.

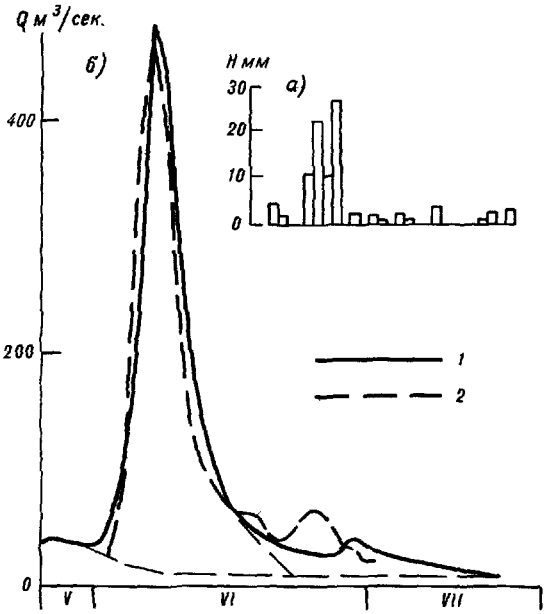


Рис. 8.10. Ход осадков (*а*) и стока (*б*) в бассейне р. Даубихе — с. Яковлевка.

1 — наблюденный гидрограф, *2* — рассчитанный

В нашем примере $M_h=\dfrac{100}{19{,}0}=5{,}2$ вольта

3. Определяем параметр n по табл. 8.16 при $\gamma=2$, $n=5$.

4. Вычисляем машинный масштабный множитель по τ_0

$$M_{\tau_0}=\frac{\tau_0 v}{l_0}=\frac{86\,400\cdot 2{,}66}{5}=46\,000.$$

5. Определяем второй параметр $T=RC$ из соотношения (8.20), откуда

$$T = \frac{1{,}30 t_{сд}}{M_{\tau_0} n} = \frac{1{,}30 \cdot 3 \cdot 86\,400}{46\,000 \cdot 5} = 1{,}46 \text{ сек.}$$

6. Находим значения R и C по равенству $T=RC$, при этом принимаем:
если $T<4$, то $C=2$,
если $40 \geqslant T>4$, то $C=10$,
если $T>40$, то $C=20$.

В нашем случае $C=2$, тогда $R=\frac{T}{C}=0{,}73$.

Подаем в машину график осадков, выраженный в вольтах (графа 4), и устанавливаем *значения параметров:*

$n=5$, $C=2$ микрофарадам,

$R=0{,}73$ Мегаома,

Производим расчет и получаем на ленте потенциометра гидрограф в машинных единицах. С гидрографа через каждые $l_0=5$ *мм* снимаем высоту ординат b_i в *мм* и заносим в графу 7 табл. 8.17.

Величины b_i переводим в $м^3/сек$ по переводной формуле и записываем в графу 8

$$Q_i - Q_0 = b_i \frac{h_{эф\,max} \cdot 10^3 F}{2m\tau_0} = b_i \frac{19{,}0 \cdot 10^3 \cdot 5210}{2 \cdot 102 \cdot 86\,400} = 5{,}6 b_i,$$

где m — величина масштаба записи гидрографа, устанавливается на машине перед расчетом.

В нашем примере $m=102$ *мм*.

К полученным величинам $Q_i - Q_0$ прибавляем величину грунтового питания Q_0 (графа 9).

На рис. 8.10 рассчитанный гидрограф сравнивается с наблюденным.

При расчете гидрографа весеннего половодья вводится интенсивность водоотдачи, которая рассчитывается методом Кузьмина—Ковзеля или другим методом. В остальном схема расчета остается прежней.

Глава 9

ЗАИЛЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ

Возведение подпорных сооружений вызывает резкое снижение скоростей течения в зоне подпора и, как следствие, отложение в водохранилище переносимых потоком частиц грунта. Отложения наносов при неблагоприятных условиях могут полностью заполнить водохранилище и сделать его непригодным для дальнейшей эксплуатации. Поэтому определение срока заполнения водохранилища наносами и установление закономерности их распределения по водохранилищу являются важной задачей гидрологического расчета.

Для определения продолжительности заиления водохранилища необходимо иметь следующие основные исходные данные:

а) средний многолетний сток взвешенных наносов;

б) сток влекомых наносов;

в) гранулометрический состав наносов.

§ 9.1. УСТАНОВЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Средний многолетний сток наносов

При наличии материалов наблюдений над наносами за достаточно длительный период (не менее 20 лет) норма стока взвешенных наносов R_0 может быть определена как средняя величина из всего ряда наблюденных R_i величин. При коротком ряде наблюдений (менее 20 лет) и при пропусках наблюдений следует восстановить средние годовые величины стока наносов с помощью построения графиков зависимости средних годовых расходов наносов R_i от средних годовых расходов воды Q_i.

При очень коротких рядах наблюдений над наносами по сравнению с расходами воды, что имеет место в большинстве случаев, необходимо привести имеющиеся данные к многолетнему периоду. В этом случае норма расходов наносов определяется теми же методами, какие применяются для приведения к норме

стока воды за короткий ряд наблюдений, т. е. норма расхода наносов R_0 находится приближенно из соотношения

$$R_0 = \frac{Q_0}{Q_{ср}} R_{ср}, \qquad (9.1)$$

где Q — норма стока воды в *м³/сек*; $Q_{ср}$ и $R_{ср}$ — соответственно средние значения расхода воды и наносов (*в кг/сек*) за период наблюдений.

Для крупных рек с площадью водосбора более 20 000 *км²* при отсутствии данных наблюдений над стоком наносов в створах, близких к проектируемому водохранилищу, средний многолетний расход наносов можно определить по интерполяции величин, измеренных на выше- и нижерасположенных створах с учетом расстояния между створами, мутности притоков и других факторов.

Величина твердого стока неизученных рек может быть определена также с помощью карты мутности[1] Г. И. Шамова, построенной им по материалам наблюдений над взвешенными наносами на больших и средних реках (приложение XXXIII). В связи с тем, что количество взвешенных наносов определяется в значительной мере местными факторами, не имеющими плавного изменения по территории, то, в отличие от карт среднего годового стока, картирование мутности воды произведено путем выделения на карте отдельных зон мутности.

Пользуясь этой картой, средний многолетний расход наносов рек с площадью водосбора от 500 до 20 000 *км²* при полном отсутствии данных наблюдений находится как произведение средней мутности ρ на средний многолетний расход воды Q_0, т. е.

$$R_0 = \rho Q_0 \ кг/сек, \qquad (9.2)$$

где R_0 — норма взвешенных наносов; ρ — средняя мутность, определенная по карте; Q_0 — средний многолетний расход воды (норма стока), определенный по приложению XXIII.

Отметим, что в настоящее время изданы уточненные карты мутности для отдельных территорий, содержащиеся в справочниках по водным ресурсам.

Для определения мутности малых водотоков с площадью водосбора менее 200 *км²* применяются поправочные коэффициенты к значениям мутности зоны по карте. В этом случае мутность вычисляется по формуле

$$\rho_р = k_п \rho_к, \qquad (9.3)$$

где $\rho_р$ — мутность реки; $\rho_к$ — мутность по карте; $k_п$ — переходный коэффициент, значения которого приведены в табл. 9.1.

---

[1] Средняя мутность воды ρ равна $\frac{R_0 \cdot 1000}{Q_0}$, где R_0 — средний расход наносов, Q_0 — средний расход воды.

Таблица 9.1

Значения поправочных коэффициентов $k_п$ к мутности малых рек, определяемых по карте

Площадь водосбора, $км^2$	Центрально-черноземные области (К. П. Воскресенский)	Украина (Н. И. Дрозд)	Северный Казахстан (К. Н. Лисицына)
2	30	30	40
5	15	15	20
10	10	10	13
50	5	5	5
100	3	—	3
200	1	—	1

Изменчивость стока взвешенных наносов

Изменчивость годового стока наносов следует учитывать при расчетах заиления водохранилищ в случаях, когда продолжительность заиления менее 50 лет или когда необходимо определить возможный объем наносов в различные по водности годы.

При наличии данных многолетних измерений стока наносов коэффициент вариации C_{vR} вычисляется по известной формуле. При недостаточности или отсутствии данных наблюдений над стоком взвешенных наносов C_{vR} определяется приближенно по аналогии с другими реками, имеющими длинные ряды наблюдений над наносами, или по приближенной формуле (9.4), предложенной Г. В. Лопатиным,

$$C_{vR} = KC_{vQ}, \tag{9.4}$$

где C_{vR} и C_{vQ} — соответственно коэффициенты вариации стока взвешенных наносов и средних годовых расходов воды; K — коэффициент равный: для равнинных рек — 1,6, для горных рек — 3,3, для рек промежуточного типа — 2.2.

Коэффициент асимметрии C_{sR} принимается равным $2C_{vR}$.

Вычисление стока влекомых наносов. Данные измерений влекомых наносов, как правило, отсутствуют. Поэтому величина расхода влекомых наносов определяется обычно по имеющимся эмпирическим формулам (Г. И. Шамова, В. Н. Гончарова, И. В. Егиазарова, К. И. Россинского). По формуле Г. И. Шамова

$$R_{дон} = 0{,}95B\sqrt{d_{ср}}\left(\frac{v_{ср}}{v_к}\right)^3 (v_{ср} - v_к)\left(\frac{d_{ср}}{H}\right)^{1/4}, \tag{9.5}$$

где $R_{дон}$ — расход влекомых наносов в *кг/сек*; B — ширина потока в *м*; H — средняя глубина потока в *м*; $v_к$ — средняя предель-

ная (критическая) скорость, при которой движение частиц прекращается и происходит их отложение, определяется по формуле

$$v_к = 3{,}7 d^{1/3} H^{1/6} \ м/сек; \qquad (9.6)$$

$d_{ср}$ — средний диаметр частиц в *м*, который вычисляется по выражению

$$d_{ср} = 0{,}01 \sum_{i=1}^{m} \alpha_i d_i, \qquad (9.7)$$

где α_i и d_i — соответственно процентное содержание и средний размер некоторой i-той фракции наносов; m — число фракций. [Для облегчения подсчета чисел, возводимых в дробную степень, в приложении 12 приведена вспомогательная таблица к расчету предельных скоростей и расходов донных наносов по формулам (9.5) и (9.6).]

При расчетах расхода влекомых наносов за длительные отрезки времени в формуле (9.5) скорости и глубины заменяются средними значениями для всего расчетного периода и умножаются на число секунд в расчетном интервале времени. Для приближенной оценки количества отложившихся в водохранилище влекомых наносов можно ограничиться расчетом для периодов половодья и ливневых паводков, когда в водохранилище поступает основная масса наносов крупных фракций. При этом принимается, что в водохранилищах с относительной емкостью[1] $\overline{W} = 0{,}15$ все поступившие влекомые наносы крупных фракций задерживаются.

Объем влекомых наносов может быть определен также по соотношению со взвешенными наносами, а именно от 1 до 10% (в среднем 4%) для равнинных рек и от 10 до 80% для горных рек. Соотношение взвешенных и влекомых наносов назначается в зависимости от мутности воды в реке и крупности донных отложений; при меньшей мутности или меньшей крупности донных отложений относительное количество влекомых наносов увеличивается.

Определение гранулометрического состава наносов

Гранулометрический (механический) состав наносов выражается процентным содержанием отдельных фракций (средний диаметр фракции d *мм*) или гидравлической крупностью (скоростью равномерного падения частиц в спокойной воде) фракции u *м/сек*.

---

[1] Относительной емкостью водохранилища $\overline{W}$ называется частное от деления его объема W на объем годового притока воды W_0, определяемого по норме стока воды.

При имеющихся данных о механическом составе наносов гидравлическую крупность можно определить по табл. 9.2. В тех случаях, когда используются данные о гранулометрическом составе наносов, помещенные в гидрологических ежегодниках, для частиц с диаметром $d<1$ *мм* гидравлическую крупность при температуре 15° рекомендуется определять по табл. 9.3. Для получения гидравлической крупности при другой температуре используются поправочные коэффициенты, помещенные в табл. 9.4. Для определения гидравлической крупности крупных фракций ($d>1$ *мм*), определяемых ситовым методом, рекомендуется пользоваться табл. 9.2.

Таблица 9.2

Значения гидравлической крупности частиц

Ламинарная и переходная области

Диаметр частиц, *мм*	Гидравлическая крупность (*м/сек*) при температуре, град.			
	5—8	9—12	13—16	17—20
0,005	0,0000105	0,0000125	0,0000140	0,0000165
0,010	0,0000420	0,0000490	0,0000560	0,0000630
0,020	0,000167	0,000193	0,000222	0,000250
0,030	0,000400	0,000468	0,000536	0,000610
0,050	0,00107	0,00125	0,00141	0,00161
0,10	0,00410	0,00500	0,00575	0,00640
0,20	0,0131	0,0150	0,0175	0,0192
0,30	0,0250	0,0277	0,0317	0,0345
0,50	0,0480	0,0528	0,0568	0,0608
1,00	0,100	0,106	0,111	0,117

Турбулентная область

Диаметр частиц, *мм*	Гидравлическая крупность, *м/сек*	Диаметр частиц, *мм*	Гидравлическая крупность, *м/сек*	Диаметр частиц, *мм*	Гидравлическая крупность, *м/сек*
1,2	0,126	5,0	0,294	20,0	0,63
2,0	0,184	7,0	0,347	30,0	0,78
3,0	0,234	10,0	0,420	50,0	1,06
4,0	0,269	15,0	0,520	80,0	1,39

При отсутствии данных о гранулометрическом составе влекомых наносов эту характеристику приближенно можно определить по схематической карте крупности взвешенных наносов, составленной Г. И. Шамовым (приложение XXXIV), или провести специальные изыскания в натуре.

Таблица 9.3

Значения гидравлической крупности частиц по таблице Гидрометслужбы при $t=15°$

Диаметр частиц, *мм*	Гидравлическая крупность, *м/сек*	Диаметр частиц, *мм*	Гидравлическая крупность, *м/сек*
1,0	0,100	0,05	0,002
0,5	0,060	0,01	0,00008
0,2	0,021	0,005	0,00002
0,1	0,088	0,001	0,0000008

Таблица 9.4

Температурные поправочные коэффициенты к гидравлической крупности, измереиной при $t=15°$

Диаметр частиц, *мм*	0—4°	5—8°	9—12°	13—16°	17—20°
1,0	0,83	0,90	0,95	1	1,04
0,5	0,74	0,84	0,92	1	1,07
0,1	0,66	0,78	0,86	1	1,12
0,01	0,66	0,77	0,85	1	1,15
0,005	0,66	0,77	0,85	1	1,15

§ 92. РАСЧЕТ ЗАИЛЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

Суммарная приближенная оценка продолжительности периода заполнения водохранилища наносами может быть произведена по уравнению

$$T = \frac{W_в}{W_н (1 - \delta)}, \qquad (9.8)$$

где T — средняя продолжительность периода заиления водохранилища в годах; $W_в$ — мертвый объем зодохранилища в $м^3$; $W_н$ — средний годовой объем наносов в $м^3$; δ — транзитная часть наносов мелких фракций, сбрасываемых из водохранилища при паводках, в долях от общего объема наносов; для равнинных водотоков в среднем $\delta = 0{,}3 \div 0{,}4$.

Средний годовой объем наносов $W_н$ может быть определен по формуле

$$W_н = \frac{R_0 \cdot 31{,}5 \cdot 10^3}{\beta} \; м^3, \qquad (9.9)$$

где R_0 — средний годовой расход наносов в *кг/сек*, определяемый по формулам (9.1 и 9.2); β — объемный вес наносов в $т/м^3$,

равный от 0,5—0,7 для илистых наносов в первые годы отложений до 1,0—1,5 для песчаных или илистых уплотненных наносов.

Формула (9.8) основана на учете равномерного отложения наносов в разные периоды. В действительности же скорость заиления водохранилищ неодинакова по годам и зависит от изменения относительной емкости водохранилища $\overline{W}$. Наиболее интенсивное заиление происходит в первые годы после сооружения водохранилища.

Неравномерность заиления водохранилищ по годам может быть учтена по методу Шамова, заключающемуся в следующем.

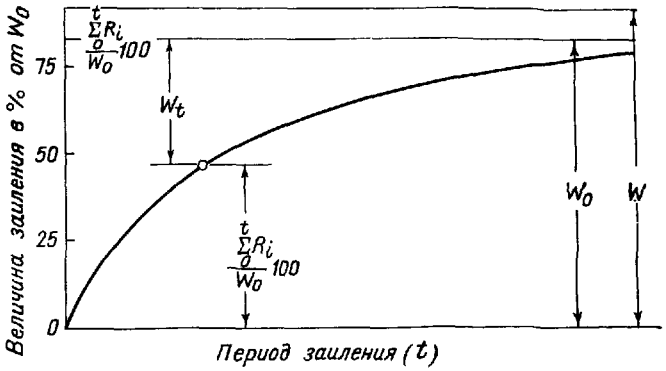


Рис. 9.1. Схема заиления водохранилища с течением времени.

Введем следующие обозначения (рис. 9.1):

W — полный объем водохранилища до начала заиления;

W_0 — предельный объем отложенных наносов, т. е. объем соответствующий установившемуся режиму перемещения наносов в верхнем бьефе, при котором дальнейшее заиление не происходит;

$\sum_0^t R_i$ — общий объем наносов, отложившихся за время t; здесь R_i — объем годичного отложения наносов;

W_t — объем водохранилища, оставшийся свободным от заиления по истечении времени t от начала процесса заиления.

Величина W_t, очевидно, будет уменьшаться с течением времени, по мере заиления водохранилища наносами, и в пределе окажется равной нулю, когда объем отложившихся наносов за время t, т. е. $\sum_0^t R_i$, окажется равным величине W_0. Период, в течение которого осуществится указанное равенство ($\sum_0^t R_i = W_0$),

и является временем заиления водохранилища. Закономерность убывания величины W_t с течением времени t может быть в общем виде представлена уравнением

$$W_t = W_0 \alpha^t, \tag{9.10}$$

где α — параметр, изменяющийся для разных водохранилищ от нуля до единицы. Имея в виду, что $W_t = W_0 - \sum_0^t R_i$, получим

$$\frac{W_0 - \sum_0^t R_i}{W_0} = \alpha^t,$$

при $t = 1$ году

$$\alpha = 1 - \frac{R_0}{W_0},$$

откуда

$$1 - \alpha = \frac{R_0}{W_0} = \frac{1}{\frac{W_0}{R_0}}. \tag{9.11}$$

Здесь R_0 — объем наносов, отложившихся в водохранилище за первый год его эксплуатации.

Из соотношения (9.11) следует, что величина $\frac{R_0}{W_0}$, или $1 - \alpha$, характеризующая относительное заиление водохранилища в течение первого года, находится в обратной (гиперболической) зависимости от показателя аккумулирующей способности водохранилища $\frac{W_0}{R_0}$.

Таким образом, задаваясь различными значениями параметра α (относящимися к различным водохранилищам) и соответствующими им величинами $\frac{W_0}{R_0}$, можно построить зависимость

$$1 - \alpha = f\left(\frac{W_0}{R_0}\right).$$

Эта зависимость в логарифмических координатах представляет собой прямую линию, изображенную пунктиром в приложении XXXV.

Используя уравнение (9.11), можно определить, на сколько процентов уменьшится незаилившийся объем водохранилища по истечении заданного периода времени t. Произведя эти вычисления для различных значений α и W_0, можно построить номограмму (приложение XXXV) для определения срока заиления

водохранилища по величине $\frac{W_0}{R_0}$ и заданному проценту заиления.

Величины R_0 и W_0 можно определить по зависимостям:

$$R_0 = \frac{1}{\gamma} R \left(1 - \frac{\omega_р}{\omega_п}\right)^x, \tag{9.12}$$

$$W_0 = W \left[1 - \left(\frac{\omega_р}{\omega_п}\right)^{1,7}\right], \tag{9.13}$$

где R — годовой сток наносов, приносимых в водохранилище; $\omega_р$ — площадь живого сечения реки в створе плотины до создания водохранилища при расходе примерно равном $^2/_3$ максимального расхода; $\omega_п$ — площадь поперечного сечения водохранилища в створе плотины (на ближайшем к плотине участке); x — показатель степени, изменяющийся от 0,33 для горных рек до 1,00 для равнинных рек; γ — вес единицы объема отложений; W_0, W и R_0 — указаны выше.

Оценка распределения наносов по акватории водохранилища основывается на учете скоростей течения в водохранилище $v_{ср}$ и скорости выпадения взвешенных в потоке частиц данной крупности $v_в$. Зависимость между $v_{ср}$ и $v_в$ можно выразить следующим уравнением:

$$v_в = u \left(1 - \frac{v_{ср}}{v_к}\right), \tag{9.14}$$

где u — гидравлическая крупность наносов; $v_к$ — предельная скорость выпадения частиц, определяемая по формуле (9.6).

Зная скорость осаждения взвешенных наносов и среднюю скорость течения на каком-либо участке водохранилища, можно вычислить путь L, на протяжении которого выпадут наносы рассматриваемой крупности,

$$L = t v_{ср} = \frac{H}{v_в} v_{ср}, \tag{9.15}$$

где L — длина участка в *м*, на котором выпадут наносы, имеющие скорость падения в текучей воде u *м/сек*; t — время выпадения частиц данной фракции; H — средняя глубина на участке длиной L; $v_{ср}$ — средняя скорость течения воды на участке водохранилища длиной L, которая может быть получена как частное от деления расхода воды Q, вытекающего из водохранилища, на среднюю площадь сечения водохранилища ω на участке длиной L, т. е.

$$v_{ср} = \frac{Q}{\omega}.$$

Таким образом, имея данные о твердом расходе и о крупности, или гранулометрическом составе наносов, поступающих в водохранилище, о величине расхода воды и площади поперечных сечений на различных участках водохранилища, по уравнениям (9.14) и (9.15) можно определить, на каком расстоянии от зоны выклинивания подпора произойдет осаждение частиц различной крупности.

Пример 8.1. Вычислить продолжительность периода заиления водохранилища, создаваемого на равнинной реке и имеющего мертвый объем $W_в = 10{,}8 \cdot 10^8$ *м*³.

Средний годовой расход воды реки $Q = 2690$ *м*³/*сек*; средняя годовая мутность $\rho = 79$ *г*/*м*³. Объемный вес наносов γ принят равным 0,60 *т*/*м*³ для первой половины периода и 1,2 *т*/*м*³ для второй половины периода заиления.

Продолжительность периода заиления водохранилища определяем по формуле (9.8).

На основании исходных данных годовой объем отлагающихся наносов составит

$$W_н = \rho Q \cdot 31{,}5 \cdot 10^6 = 0{,}079\ (кг/м^3) \cdot 2690\ (м^3/сек) \cdot 31{,}5 \cdot 10^6 = 6{,}69 \cdot 10^6\ т.$$

При объемном весе наносов, равном в среднем за период заиления $\gamma = \frac{0{,}6 + 1{,}2}{2} = 0{,}9$ *т*/*м*³, годовой объем отлагающихся наносов по формуле (9.9) равен

$$W_н = \frac{6{,}69 \cdot 10^6}{0{,}9} = 7{,}43 \cdot 10^6\ м^3.$$

Объем влекомых наносов $W_{нд}$ определяем по соотношению со взвешенными наносами $W_н$ и принимаем $\frac{W_{нд}}{W_н} \cdot 100 = 4\%$. Тогда объем влекомых наносов составит

$$W_{нд} = 7{,}43 \cdot 10^6 \cdot 0{,}04 = 0{,}30 \cdot 10^6\ м^3.$$

Подставляя вычисленные величины $W_н$ и $W_{нд}$ в формулу (9.8) и принимая $\delta = 0{,}30$, получаем продолжительность периода заиления водохранилища

$$T = \frac{10{,}8 \cdot 10^8}{7{,}43 \cdot 10^6 (1 - 0{,}3) + 0{,}30 \cdot 10^6} = 1{,}96 \cdot 10^2 = 196\ лет.$$

Пример 8.2 В водохранилище поступает расход взвешенных наносов $R = 80$ *кг*/*сек*, характеризующийся следующими данными:

Диаметр частиц, *мм*	0,5	0,25	0,05	0,01
Количество частиц (в % по весу)	1,0	15,6	16,4	67,0
Гидравлическая крупность, *мм*/*сек*	52,6	21,4	1,24	0,049

Расход воды из водохранилища в период, для которого производится расчет осаждения наносов, $Q = 125$ *м*³/*сек*. Средняя площадь поперечного сечения водохранилища на расчетном участке $\omega = 770$ *м*²; средняя ширина $B = 200$ *м*.

Требуется определить, на каком расстоянии от входа в водохранилище выпадут частицы различной крупности.

На основании исходных данных устанавливаем среднюю глубину

$$H = \frac{770}{200} = 3{,}85\ м$$

и среднюю скорость

$$v_{ср} = \frac{125}{770} = 0{,}16 \text{ м/сек.}$$

Пользуясь зависимостями (9.6) и (9.14), находим предельную скорость $v_к$ и скорости выпадения частиц $v_в$ для наносов различной крупности, а далее по соотношению (9.15) определяем длину участка, на протяжении которого выпадают частицы различной крупности.

Произведя вычисления, получаем следующие результаты:

Диаметр частиц, *мм*	0,5	0,25	0,05	0,01
$v_к$ *м/сек*	0,39	0,31	0,18	0,10
$v_в$ *м/сек*	0,031	0,010	0,00014	меньше 0
L м	20	60	4400	проносятся

ЛИТЕРАТУРА

Глава 1

1. Методические указания управлениям Гидрометслужбы, № 56, ГГИ. Гидрометеоиздат, Л., 1960.
2. Чеботарев А. И. и Клибашев К. П. Гидрологические расчеты. Гидрометеоиздат, Л., 1956.

Глава 2

1. Методические указания управления Гидрометслужбы, № 73, ГГИ, Гидрометеоиздат, М., 1966.
2. Методические рекомендации к составлению Справочника по водным ресурсам СССР, вып. 7, ч. II. Изд. ГГИ, Л., 1963.
3. Методические рекомендации к составлению Справочника по водным ресурсам СССР, вып. 7, ч. III. Изд. ГГИ, Л., 1962.
4. Смирнова Е. А. Расчетные характеристики дождевых осадков на территории СССР. Международный симпозиум по паводкам и их расчетам 15—22 августа 1967 г. Гидрометеоиздат, Л., 1967.
5. Соколовский Д. Л. Речной сток, Изд. 3-е. Гидрометеоиздат, Л., 1968.
6. Указания по производству снегомерных съемок на гидрометеорологических станциях и постах. Гидрометеоиздат, Л., 1965.
7. Указания для управлений Гидрометслужбы по вычислению поправок к измеренным величинам атмосферных осадков. Гидрометеоиздат, Л., 1969.
8. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. Гидрометеоиздат, Л., 1969.
9. Чеботарев А. И. и Клибашев К. П. См. [2] к гл. 1.

Глава 3

1. Андреянов В. Г. Гидрологические расчеты при проектировании малых и средних гидроэлектростанций. Гидрометеоиздат, Л., 1957.
2. Воскресенский К. П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Гидрометеоиздат, Л., 1962.
3. Зайков Б. Д. и Белинков С. Ю. Средний многолетний сток рек СССР. Труды ГГИ, вып. 2 (56), 1937.
4. Крицкий С. Н. и Менкель М. Ф. Гидрологические основы речной гидротехники. Изд. АН СССР, М., 1950.
5. Лебедев В. В. Гидрология и гидрометрия в задачах. Гидрометеоиздат, Л., 1961.
6. Методические рекомендации к составлению Справочника по водным ресурсам СССР, вып. 5. Изд. ГГИ, Л., 1961.
7. Огиевский А. В. Гидрология суши, 3-е изд. Сельхозгиз, М., 1951.

8. Поляков Б. В. Гидрологический анализ и расчеты. Гидрометеоиздат, Л., 1946.
9. Соколовский Д. Л. См. [5] к гл. 2.
10. Указания по определению расчетных величин годового стока рек и его внутригодового распределения. СН 371-67. Гидрометеоиздат, Л., 1968.
11. Чеботарев А. И. Гидрология суши и расчеты речного стока. Гидрометеоиздат, Л., 1953.
12. Чеботарев А. И. и Клибашев К. П. См. [2] к гл. 1.
13. Шульц В. Л. Средний сток рек Средней Азии. Метеорология и гидрология в Узбекистане. Изд. АН УзбССР, Ташкент, 1955.

Глава 4

1. Алексеев Г. А. Графо-аналитические способы определения и приведения к длительному периоду наблюдений параметров кривой распределения. Труды ГИ, вып. 73, 1960.
2. Андреянов В. Г. См. [1] к гл. 3.
3. Андреянов В. Г. Циклические колебания годового стока и их учет при гидрологических расчетах. Труды ГГИ, вып. 68, 1959.
4. Блохинов Е. Г. Об особенностях распределения выборочных оценок параметров речного стока. Труды ГГИ, вып. 134, 1966.
5. Воскресенский К. П. См. [2] к гл. 3.
6. Крицкий С. Н. и Менкель М. Ф. О применении метода наибольшего правдоподобия. Изв. АН СССР, отд. техн. наук, № 4, 1949.
7. Крицкий С. Н. и Менкель М. Ф. см. [4] к гл. 3.
8. Лебедев В. В. См. [5] к гл. 3.
9. Методические рекомендации. См. [6] к гл. 3.
10. Огиевский А. В. См. [7] к гл. 3.
11. Поляков Б. В. См. [8] к гл. 3.
12. Соколовский Д. Л. См. [5] к гл. 2.
13. Указания. См. [10] к гл. 3.
14. Чеботарев А. И. См. [11] к гл. 3.
15 Чеботарев А. И. и Клибашев К. П. См. [2] к гл. 1.

Глава 5

1. Андреянов В. Г. Внутригодовое распределение стока. Гидрометеоиздат, Л., 1960.
2. Методические рекомендации к составлению Справочника по водным ресурсам СССР, вып. 6. Изд. ГГИ, Л., 1961.

Глава 6

1. Указания по определению расчетных минимальных расходов воды рек при строительном проектировании. СН 346-66. Гидрометеоиздат, Л., 1966.

Глава 7 и 8

1. Алексеев Г. А. Расчеты паводочного стока рек СССР. Гидрометеоиздат, Л., 1955.
2. Алексеев Г. А. Схема расчета максимальных дождевых расходов воды по формуле предельной интенсивности стока с помощью кривых редукции осадков и стока. Труды ГГИ, вып. 134, 1966.
3. Андреянов В. Г. См. [1] к гл. 3.
4. Бефани А. Н. Новый метод расчета максимальных ливневых расходов в условиях степной полосы Украины (практическое руководство). Труды ОГМИ, вып. XII, 1958.

5 Вишневский П Ф Ливни и ливневой сток на Украине (на укр яз) Изд во «Наукова Думка», Киев, 1964
6 Горошков И Ф Приближенная схема расчета максимального дождевого стока на реках Дальнего Востока Труды ЛГМИ, вып 13, 1962
7 Горошков И Ф, Самохин А А Соловьева Н Н Максимальные расходы дождевых паводков на реках бассейна Амура и методики их расчета Труды ЛГМИ, вып 35, 1969
8 Калинин Г П и Милюков П И Приближенный расчет неустановившегося движения водных масс Труды ЦИП, вып 66, 1958
9 Калинин Г П, Милюков П И Нечаева Н С Простая электронная моделирующая установка для прогноза паводков Метеорология и гидрология, № 8, 1960
10 Лебедев В В См [5] к гл 3
11. Методические рекомендации к составлению Справочника по водным ресурсам СССР, вып 7, ч 1 Изд ГГИ, Л , 1962
12 Методические рекомендации к составлению Справочника по водным ресурсам СССР См [2] и [3] к гл 2
13 Мокляк В И Расчеты весенних максимальных расходов воды Труды Киевской ГМО, вып 3(4), 1949
14 Огиевский А В Основные закономерности в процессах стока на речных бассейнах Труды НИУ ГУГМС серия IV, вып 13, 1945
15 Огиевский А В См [7] к гл 3
16 Поляков Б В См [8] к гл 3
17 Соколов А А Методика расчетов максимальных расходов талых вод при отсутствии или недостаточности гидрометрических данных Труды ГГИ, вып 134, 1966
18 Соколовский Д Л См [6] к гл 2
19 Соколовский Д Л и Шикломанов И А Расчеты гидрографов паводков с применением электронных моделирующих устройств Труды ЛГМИ, вып 23, 1965
20 Указания по определению расчетных максимальных расходов талых вод при отсутствии или недостаточности гидрометрических наблюдений СН 356 66 Гидрометеоиздат, Л , 1966
21 Федорей В Г Максимальные расходы воды рек бассейна Верхнего и Среднего Амура Труды ДВ НИГМИ, вып 18, 1964
22 Чеботарев А И См [11] к гл 3
23 Чеботарев А И и Клибашев К П См [2] к гл 1
24 Методические указания управлениям Гидрометслужбы, № 49, ГГИ Гидрометеоиздат, Л , 1957

Глава 9

1 Шамов Г И Речные наносы Гидрометеоиздат, Л , 1959
2 Указания по расчету заиления водохранилищ при строительном проектировании Гидрометеоиздат Л , 1968

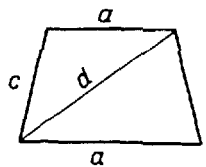
ПРИЛОЖЕНИЯ

Размеры рамок и площадей трапеций топографической съемки масштаба 1 : 100 000 (20′×30′)

φ	a	c	d	P	φ	a	c	d	P
32° 00′	47,25	36,96	59,92	1743,28	53° 00′	33,57	37,10	49,95	1240,52
20	47,08	36,97	59,79	1736,99	20	33,31	37,10	49,77	1230,95
40	46,90	36,97	59,65	1730,65	40	33,05	37,10	49,60	1221,34
33 00	46,73	36,97	59,52	1724,24	54 00	32,79	37,10	49,43	1211,69
20	46,55	36,97	59,37	1717,78	20	32,53	37,11	49,26	1202,00
40	46,37	36,97	59,23	1711,26	40	32,26	37,11	49,09	1192,26
34 00	46,19	36,98	59,10	1704,68	55 00	32,00	37,11	48,91	1182,49
20	46,01	36,98	58,96	1698,05	20	31,73	37,11	48,74	1172,67
40	45,83	36,98	58,81	1691,35	40	31,46	37,11	48,57	1162,80
35 00	45,64	36,98	58,67	1684,60	56 00	31,20	37,12	48,40	1152,90
20	45,46	36,98	58,53	1677,79	20	30,93	37,12	48,23	1142,96
40	45,27	36,99	58,30	1670,92	40	30,66	37,12	48,06	1132,97
36 00	45,08	36,99	58,24	1664,00	57 00	30,39	37,12	47,88	1122,95
20	44,89	36,99	58,09	1657,02	20	30,11	37,12	47,71	1112,88
40	44,70	36,99	57,95	1649,98	40	29,84	37,13	47,55	1102,78
37 00	44,51	36,99	57,80	1642,88	58 00	29,57	37,13	47,38	1092,64
20	44,31	37,00	57,65	1635,73	20	29,29	37,13	47,21	1082,46
40	44,12	37,00	57,50	1628,53	40	29,02	37,13	47,04	1072,24
38 00	43,92	37,00	57,35	1621,26	59 00	28,74	37,13	46,87	1061,98
20	43,72	37,00	57,20	1613,95	20	28,46	37,14	46,71	1051,68
40	43,52	37,00	57,04	1606,57	40	28,18	37,14	46,54	1041,35
39 00	43,31	37,01	56,89	1599,14	60 00	27,90	37,14	46,37	1030,98
20	43,11	37,01	56,74	1591,66	20	27,62	37,14	46,20	1020,57
40	42,90	37,01	56,58	1584,12	40	27,34	37,14	46,03	1010,13
40 00	42,70	37,01	56,43	1576,53	61 00	27,05	37,14	45,86	999,64
20	42,49	37,02	56,28	1568,88	20	26,77	37,15	45,71	989,13
40	42,28	37,02	56,12	1561,18	40	26,49	37,15	45,54	978,58

41	00	42,07	37,02	55,96	1553,42	62	00	26,20	37,15	45,38	967,99
	20	41,86	37,02	55,80	1545,61		20	25,91	37,15	45,21	957,37
	40	41,64	37,02	55,64	1537,75		40	25,63	37,15	45,05	946,72
42	00	41,43	37,03	55,48	1529,84	63	00	25,34	37,16	44,90	936,03
	20	41,21	37,03	55,32	1521,87		20	25,05	37,16	44,73	925,30
	40	40,99	37,03	55,16	1513,85		40	24,76	37,16	44,57	914,55
43	00	40,77	37,03	54,99	1505,78	64	00	24,47	37,16	44,41	903,76
	20	40,55	37,03	54,83	1497,65		20	24,17	37,16	44,25	892,94
	40	40,33	37,04	54,67	1489,47		40	23,88	37,16	44,09	882,09
44	00	40,10	37,04	54,51	1481,24	65	00	23,59	37,17	43,94	871,20
	20	39,88	37,04	54,34	1472,96		20	23,29	37,17	43,79	860,29
	40	39,65	37,04	54,18	1464,63		40	23,00	37,17	43,63	849,34
45	00	39,42	37,05	54,01	1456,25	66	00	22,70	37,17	43,48	838,36
	20	39,19	37,05	53,85	1447,82		20	22,41	37,17	43,33	827,35
	40	38,96	37,05	53,68	1439,33		40	22,11	37,17	43,17	816,32
46	00	38,73	37,05	53,51	1430,80	67	00	21,81	37,18	43,03	805,25
	20	38,50	37,05	53,35	1422,22		20	21,51	37,18	42,88	794,15
	40	38,26	37,06	53,18	1413,58		40	21,21	37,18	42,73	783,03
47	00	38,03	37,06	53,02	1404,90	68	00	20,91	37,18	42,48	771,88
	20	37,79	37,06	52,84	1396,17		20	20,61	37,18	42,44	760,70
	40	37,55	37,06	52,67	1387,39		40	20,31	37,18	42,29	749,49
48	00	37,31	37,07	52,51	1378,56	69	00	20,01	37,18	42,15	738,25
	20	37,07	37,07	52,34	1369,68		20	19,70	37,19	42,01	726,99
	40	36,83	37,07	52,17	1360,76		40	19,40	37,19	41,87	715,70
49	00	36,59	37,07	52,00	1351,79	70	00	19,09	37,19	41,74	704,39
	20	36,34	37,07	51,83	1342,77		20	18,79	37,19	41,60	693,05
	40	36,10	37,08	51,66	1333,70		40	18,48	37,19	41,46	681,69
50	00	35,85	37,08	51,49	1324,59	71	00	18,17	37,19	41,33	670,30
	20	35,60	37,08	51,32	1315,43		20	17,87	37,19	41,19	658,88
	40	35,35	37,08	51,14	1306,22		40	17,56	37,20	41,07	647,45
51	00	35,10	37,08	50,97	1296,97	72	00	17,25	37,20	40,94	635,99
	20	**34,85**	**37,09**	50,80	1287,68		20	16,94	37,20	40,81	624,50
	40	**34,59**	**37,09**	50,63	1278,33		40	16,63	37,20	40,68	613,00
52	00	34,34	**37,09**	50,46	1268,94	73	00	16,32	37,20	40,56	601,47
	20	34,08	**37,09**	50,29	1259,51		20	16,01	37,20	40,44	589,92
	40	33,83	37,10	50,12	1250,04		40	15,70	37,20	40,32	578,35

φ	a	c	d	P	φ	a	c	d	P
74° 00′	15,39	37,20	40,20	566,75	77° 20′	12,24	37,21	39,12	449,76
20	15,08	37,21	40,09	555,14	40	11,93	37,22	39,04	437,97
40	14,76	37,21	39,97	543,51	78 00	11,61	37,22	38,94	426,16
75 00	14,45	37,21	39,86	531,85	20	11,29	37,22	38,85	414,33
20	14,14	37,21	39,75	520,18	40	10,97	37,22	38,76	402,48
40	13,82	37,21	39,64	508,49	79 00	10,65	37,22	38,67	390,63
76 00	13,51	37,21	39,53	496,78	20	10,34	37,22	38,59	378,76
20	13,19	37,21	39,43	485,05	40	10,02	37,22	38,50	366,87
40	12,88	37,21	39,32	473,31	80 00	9,70			
77 00	12,56	37,21	39,22	461,54					



Примечание a — южное (или северное) основание трапеции, c — боковая сторона трапеции, d — диагональ, P — площадь.

Величины a, c и d выражены в сантиметрах, а площадь P — в квадратных километрах.

Параметры ливней A и B

Название пункта	A	B	Название пункта	A	B
Ай-Петри	5,20	6,85	Верхний Карабулак	(5,69)	(5,52)
Ак-Таш	2,60	3,61	Владивосток, обсерватория	4,68	4,93
Алма-Ата	3,25	3,21	Волово	3,44	3,14
Алушта	4,25	6,52	Вологда	3,28	2,90
Амурская с.-х. оп. ст	4,30	3,98	Волгоград	3,02	2,62
Архара	5,58	5,02	Волочиск	5,40	4,82
Архангельск	2,59	2,84	Воронеж, ун-т	4,88	4,93
Астара	4,86	4,55	Геническ, порт	3,96	4,35
Аткарск	4,50	3,64	Георгиу-Деж	4,25	3,26
Ахнели	2,82	2,32	Гилово	3,13	3,13
Ашхабад	1,62	2,61	Глобино	4,37	4,13
Байдары	2,37	6,40	Говоры	4,19	3,01
Балашов, ж.-д ст.	3,58	3,38	Гойтх	7,06	5,31
Барабинск	4,56	4,46	Горки	3,61	2,32
Батуми, Зеленый Мыс	7,78	5,75	Городищенское лесничество	3,14	2,94
Бахчисарай	5,35	6,37	Горький	4,10	3,78
Безенчук	3,28	3,77	Графская	3,80	3,16
Бикин	4,45	3,45	Грозный	(5,25)	(5,64)
Бира	4,85	3,95	Гурзуф	4,09	4,54
Бирское оп. поле	4,40	4,00	Дамбуки	3,40	3,18
Бирючья Коса	3,50	4,16	Дербент	2,62	4,58
Благовещенск	4,22	3,58	Джамбул	3,06	3,23
Бобринская	3,34	3,18	Днепропетровск	4,00	3,55
Богородицкое-Фенино	3,80	2,67	Донецк	4,57	4,05
Бологое	3,62	2,93	Драбов	3,74	3,86
Бомнак	3,03	3,38	Душанбе	3,67	3,79
Боровое лесничество	4,20	3,77	Евпатория, порт	3,66	3,36
Быса	4,28	3,08			
Васильево	5,30	5,15			

Наавание пункта	A	B
Евгеньевка,	4,14	4,65
Елизаветинская	3,03	3,06
Жмеринка	4,10	3,86
Завитая	5,12	4,07
Закаталы	(4,89)	(3,76)
Иваново, опорная	3,26	2,96
Иркутск	2,53	2,81
Ичня	3,92	3,57
Каменецк-Подольский	4,46	3,84
Каменка	3,93	3,92
Каменная Степь, № 4	3,58	2,98
Караби-Яйла	4,05	3,44
Каракол-Покровское	2,33	2,59
Кашира	3,75	3,13
Керчь, порт	3,70	4,66
Кзыл-Орда-Тургай	2,44	3,05
Киров, опорная	3,76	3,54
Конотоп	3,85	3,18
Константиновка	5,48	4,75
Котовск (Бирзула)	(5,81)	(4,55)
Красноград (Константиноград)	5,40	4,69
Красный Кордон	4,05	2,92
Кронштадт	3,18	2,61
Крымский гос. заповедник	5,60	5,85
Купянск, ж.-д. ст.	4,13	3,12
Курск	4,11	0,44
Куткашен	(4,80)	(3,08)
Кучук-Тотайкой	5,18	5,50
Лазо	4,63	4,17
Лев Толстой	4,44	3,80
Ленинская	(5,00)	(4,20)
Ленинград, ГГО и Ле-		

Название пункта	A	B
Ош	2,63	3,76
Падша-Ата	3,45	3,83
Песчаное	5,17	3,95
Пехлеви	5,54	4,59
Пикан	4,56	3,96
Пильва	3,97	3,07
Покровка-Каракол	2,33	2,59
Полтава, с.-х. оп. ст.	4,32	3,29
Поти, порт	9,00	6,62
Приднепровская	2,97	2,78
Ростов-на-Дону, гидрометстанция	4,26	4,58
Ростов-на-Дону, оп. ст.	4,65	4,45
Рубежное	4,40	3,11
Рубцовка	3,64	3,64
Ртищево	3,78	3,56
Сагайдак	5,60	5,09
Саки	3,66	4,31
Салгирка	4,20	3,75
Самарканд	1,56	3,12
Сантреди	5,27	4,55
Сантахеза	3,99	4,45
Сарканд	2,84	2,03
Сарыч, маяк	3,81	4,35
Свердловск	3,16	3,12
Севан (Еленовка)	(5,49)	(4,25)
Сегежа	2,74	2,32
Скипа (Ахалсопели)	(5,07)	(3,84)
Слуцк	3,45	2,47
Сочи, оп. ст.	6,72	5,56
Сочи, порт	6,00	5,00
Спас-Деменск	3,89	2,86
Спат	4,90	5,20
Старая Русса, ж.-д.		

нинград, Песочная	3,49	2,83
Ленинград, Лесотехническая академия	3,56	3,00
Ленинград, порт	3,72	3,69
Либани	3,86	3,61
Лозовая	5,06	4,30
Магдагачи	4,60	3,58
Мариуполь, порт	4,90	4,55
Махачкала	2,59	3,35
Майхэ	3,52	4,53
Медео [1]	4,30	3,54
Минеральные Воды, ж.-д. ст.	6,25	6,25
Минск, оп. ст.	4,50	3,40
Миньяр	3,28	2,98
Митрофановская	3,70	3,46
Мичуринск	5,08	3,83
Москва, Гидрометинститут	4,50	3,86
Москва, Обсерватория им. Михельсона (бывш. Петровско-Разумовское)	4,32	3,28
Невинномысская	5,98	6,93
Нижний Ольчедаев	4,44	3,83
Никитская Дача	3,75	3,68
Николаевское	4,11	3,64
Новозыбков	2,62	2,83
Новороссийск, порт	5,61	5,61
Новосибирск	3,19	2,42
Облучье	5,33	4,08
Одесса, порт	4,07	4,38
Оренбург	3,18	2,86
Орджоникидзе	(5,51)	(4,97)
Орша, ж.-д. ст.	3,60	2,80
ст.	3,96	2,85
Старый Крым	(5,85)	(5,51)
Сумы, оп. ст.	3,59	3,52
Сухуми, ботанический сад	6,60	6,65
Сухуми, маяк	7,50	5,91
Сухуми, порт	7,50	6,41
Тайга	4,52	4,18
Ташкент, обсерватория	2,04	3,05
Ташлы-Кипчак	5,07	4,91
Тбилиси, обсерватория	4,10	3,39
Тбилиси, фуникулер (гора Давнда)	3,88	5,26
Телави	5,40	4,55
Темрюк, порт	4,95	**5,15**
Тихорецкая	5,10	5,00
Тквибули	5,55	4,66
Троицк	3,20	3,78
Туапсе, порт	6,85	5,31
Тургай, Кзыл-Орда	2,44	3,05
Тыган-Уркан	3,77	4,06
Узловая	3,65	3,70
Уланга	3,62	3,24
Ульканы	3,94	3,42
Усть-Колумбе	3,90	4,39
Усть-Луга	3,73	2,83
Уссурийск	3,90	3,98
Уссурийская приморская с.-х. оп. ст.	4,21	4,86
Учан-Су	3,50	5,54
Феодосийское лесничество	4,75	4,85
Феодосия, морская обсерватория	4,33	5,15
Фрунзе, луговая	2,42	3,07

[1] Объединены наблюдения пунктов Медео, Сарт-Сай, Верхний Горельник, Усть-Горельник и Мын-Джилки.

Название пункта	A	B	Название пункта	A	B
Харьков, обсерватория	4,37	3,76	Чакино	3,86	3,58
Христиновка	(6,20)	(5,67)	Чаплино	5,80	4,76
Цаленджиха	(5,02)	(4,08)	Шатилово	4,18	3,91
Целиноград	2,57	3,22	Шимановская	4,05	3,33
Цин-Хаду	(3,65)	(2,76)	Шнгры	4,65	3,64
Ципа	3,66	3,20	Ялта	3,32	6,25
Чаква	7,47	5,21			

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Велнчины обеспеченности, вычисленные по формуле

$$p = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100\%$$

m	n													
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	6,73	6,14	5,64	5,22	4,86	4,55	4,27	4,02	3,80	3,61	3,43	3,27	3,13	2,99
2	16,3	14,9	13,7	12,7	11,8	11,0	10,4	9,76	9,25	8,76	8,33	7,94	7,59	7,26
3	26,0	23,7	21,8	20,1	18,7	17,5	16,5	15,5	14,7	13,9	13,2	12,6	12,0	11,5
4	35,6	32,5	29,8	27,6	25,7	24,0	22,5	21,2	20,1	18,1	18,1	17,3	16,5	15,8
5	45,2	41,2	37,9	35,1	32,6	30,5	28,6	27,0	25,5	24,2	23,0	22,0	21,0	20,1
6	54,8	50,0	46,0	42,5	39,6	37,0	34,8	32,7	31,0	29,4	28,0	26,6	25,4	24,4
7	64,4	58,8	54,0	50,0	46,5	43,5	40,8	38,5	36,4	34,5	32,8	31,3	29,9	28,6
8	74,0	67,5	62,1	57,4	53,4	50,0	47,0	44,2	41,8	39,7	37,8	36,0	34,4	32,9
9	83,6	76,3	70,2	64,9	60,4	56,5	53,0	50,0	47,2	44,8	42,6	40,6	38,8	37,2
10	93,3	85,1	78,2	72.4	67,3	63,0	59,2	55,8	52,8	50,0	47,5	45,3	43,3	41,5
11		93,8	86,3	79,8	74,3	69,5	65,2	61,5	58,2	55,2	52,5	50,0	47,8	45,7
12			84,3	87,3	81,2	76,0	71,4	67,3	63,6	60,3	57,3	54,7	52,2	50,0
13				94,7	88,1	82,5	77,5	73,0	69,0	65,5	62,2	59,4	56,7	54,2

14					95,1	89,0	83,5	78,8	74,5	70,6	67,2	64,0	61,2	58,2
15						95,5	89,6	84,5	79,9	75,8	72,0	68,7	65,6	62,8
16							95,7	90,2	85,3	80,9	77,0	73,4	70,1	67,1
17								96,0	90,8	86,1	81,9	78,0	74,6	71,4
18									96,2	91,2	86,8	82,7	79,0	75,6
19										96,4	91,7	87,4	83,5	79,9
20											96,6	92,1	88,0	84,2
21												96,7	92,4	88,5
22													96,9	92,7
23														97,0

m	n													
	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
1	2,87	2,76	2,65	2,56	2,46	2,38	2,30	2,23	2,16	2,10	2,04	1,98	1,92	1,87
2	6,97	6,70	6,44	6,20	5,98	5,78	5,58	5,41	5,26	5,09	4,94	4,80	4,67	4,55
3	11,1	10,6	10,2	9,85	9,50	9,18	8,88	8,60	8,34	8,08	7,85	7,63	7,42	7,23
4	15,2	14,6	14,0	13,5	13,0	12,6	12,2	11,8	11,4	11,1	10,8	10,4	10,2	9,90
5	19,3	18,5	17,8	17,2	16,5	16,0	15,5	15,0	14,5	14,1	13,7	13,3	12,9	12,6
6	23,4	22,4	21,6	20.8	20,1	18,4	18,8	18,2	17,6	17,1	16,6	16,1	15,7	15,2
7	27,5	26,4	25,4	24,4	23,6	22,8	22,1	21,3	20,7	20,0	18,5	18,9	18,4	17,9
8	31,6	30,3	29,2	28,1	27,1	26,2	25,3	24,5	23,8	23,0	22,4	21,8	21,2	20,6
9	35,7	34,3	33,0	31,8	30,6	29,6	28,6	27,7	26,9	26,1	25,3	24,6	23,9	23,3
10	39,8	38,2	36,7	35,4	34,1	33,0	31,9	30,9	30,0	29,1	28,2	27,4	26,6	26,0
11	43,9	42,1	40,5	39,1	37,7	36,4	35,2	34,1	33,0	32,0	31,1	30,2	29,4	28,6
12	48,0	46,1	44,3	42,7	41,2	39,8	38,5	37,3	36,1	35,0	34,0	33,0	32,1	31,3
13	52,0	50,0	48,1	46,4	44,7	43,2	41,8	40,4	39,2	38,0	36,9	35,9	34,9	34,0
14	56,1	53,9	51,9	50,0	48,2	46,6	45,1	43,6	42,3	41,0	39,8	38,7	37,6	36,7
15	60,2	57,9	55,7	53,6	51,8	50,0	48,4	46,8	45,4	44,0	42,7	41,5	40,4	39,4
16	64,3	61,8	59,5	57,3	55,3	53,4	51,6	50,0	48,5	47,0	45,6	44,4	43,1	42,0
17	68,4	65,7	63,2	60,9	58,8	56,8	54,9	53,2	51,5	50,0	48,5	47,2	45,9	44,7
18	72,5	69,7	67,0	64,6	62,3	60,2	58,2	56,4	54,6	53,0	51,5	50,0	48,6	47,4
19	76,6	73,6	70,8	68,2	65,9	63,6	61,5	59,6	57,7	56,0	54,4	52,8	51,4	50,0
20	80,7	77,6	74,6	71,9	69,4	67,0	64,8	62,7	60,8	59,0	57,3	55,6	54,1	52,7

m \ n	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
21	84,8	81,5	78,4	75,6	72,9	70,4	68,1	65,9	63,9	62,0	60,2	58,5	56,9	55,4
22	88,9	85,4	82,2	79,2	76,4	73,8	71,4	69,1	67,0	65,0	63,1	61,3	59,6	58,1
23	93,0	89,4	86,0	82,8	79,9	77,2	74,7	72,3	70,0	68,0	66,0	64,1	62,4	60,8
24	97,1	93,3	89,8	86,5	83,5	80,6	77,9	75,5	73,1	70,9	68,9	67,0	65,1	63,5
25		97,2	93,6	90,1	87,0	84,0	81,2	78,7	76,2	73,9	71,8	70,0	67,8	66,1
26			97,4	93,8	90,5	87,4	84,5	81,9	79,3	77,0	74,7	72,6	70,6	68,8
27				97,4	94,0	90,8	87,8	85,0	82,4	80,0	77,6	75,4	73,3	71,5
28					97,5	94,2	91,1	88,2	85,5	82,9	80,5	78,2	76,1	74,1
29						97,6	94,4	91,4	88,6	85,9	83,4	81,1	78,8	76,8
30							97,7	94,6	91,7	88,9	86,3	83,9	81,6	79,5
31								97,8	94,8	92,0	89,2	86,7	84,3	82,1
32									97,8	95,0	92,2	89,6	87,1	84,8
33										97,9	95,1	92,4	89,8	87,5
34											98,0	95,2	92,6	90,2
35												98,0	95,3	92,8
36													98,1	95,5
37														98,1

m \ n	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1	1,82	1,78	1,73	1,69	1,65	1,61	1,58	1,54	1,51	1,48	1,44	1,42	1,39
2	4,42	4,31	4,20	4,11	4,01	3,92	3,82	3,74	3,66	3,59	3,51	3,44	3,37
3	7,02	6,85	6,68	6,52	6,37	6,22	6,08	5,95	5,82	5,70	5,58	5,46	5,36
4	9,62	9,39	9,16	8,93	8,73	8,52	8,35	8,15	7,97	7,81	7,64	7,49	7,34
5	12,2	11,9	11,6	11,4	11,1	10,8	10,6	10,4	10,1	9,92	9,71	9,51	9,32
6	14,8	14,5	14,1	13,8	13,4	13,1	12,8	12,6	12,3	12,0	11,8	11,5	11,3
7	17,4	17,0	16,6	16,2	15,8	15,4	15,1	14,8	14,4	14,1	13,8	13,6	13,3
8	20,0	19,5	19,1	18,6	18,2	17,7	17,4	17,0	16,6	16,2	15,9	15,6	15,3
9	22,6	22,1	21,5	21,0	20,5	20,0	19,6	19,2	18,7	18,4	18,0	17,6	17,3

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

m	n												
	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
47										98,5	96,5	94,5	92,6
48											98,5	96,6	94,6
49												98,6	96,6
50													98,6

m	n										
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61
1	1,36	1,34	1,31	1,29	1,26	1,24	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14
2	3,31	3,25	3,18	3,13	3,07	3,01	2,96	2,91	2,86	2,81	2,77
3	5,26	5,16	5,06	4,96	4,87	4,79	4,70	4,63	4,54	4,47	4,40
4	7,21	7,06	6,93	6,81	6,68	6,56	6,44	6,34	6,28	6,12	6,03
5	9,15	8,97	8,80	8,65	8,48	8,33	8,19	8,05	7,91	7,78	7,66
6	11,1	10,9	10,7	10,5	10,3	10,1	9,93	9,76	9,59	9,44	9,28
7	13,0	12,8	12,5	12,3	12,1	11,9	11,7	11,5	11,3	11,1	10,9
8	15,0	14,7	14,4	14,1	13,9	13,6	13,4	13,2	13,0	12,7	12,5
9	16,9	16,6	16,3	16,0	15,7	15,4	15,2	14,9	14,6	14,4	14,2
10	18,9	18,5	18,2	17,8	17,5	17,2	16,9	16,6	16,3	16,1	15,8
11	20,8	20,4	20,0	19,7	19,3	18,9	18,6	18,3	18,0	17,7	17,4
12	22,8	22,4	21,9	21,5	21,1	20,7	20,4	20,0	19,7	19,3	19,1
13	24,8	24,2	23,8	23,4	22,9	22,5	22,1	21,8	21,4	21,0	20,7
14	26,7	26,2	25,7	25,3	24,7	24,3	23,9	23,5	23,0	22,7	22,3
15	28,6	28,1	27,5	27,0	26,5	26,1	25,6	25,2	24,7	24,3	23,9
16	30,6	30,0	29,4	28,9	28,3	27,8	27,3	26,9	26,4	26,0	25,6
17	32,5	31,9	31,3	30,7	30,1	29,6	29,1	28,6	28,1	27,6	27,2
18	34,5	33,8	33,2	32,5	31,9	31,4	30,8	30,3	29,8	29,3	28,8
19	36,4	35,7	35,0	34,4	33,8	33,2	32,6	32,0	31,5	30,9	30,5
20	38,4	37,6	36,9	36,3	35,6	34,9	34,3	33,8	33,2	32,6	32,1
21	40,4	39,6	38,8	38,1	37,4	36,7	36,1	35,5	34,8	34,3	33,7
22	42,3	41,5	40,6	39,9	39,2	38,5	37,8	37,2	36,5	35,9	35,4
23	44,2	43,4	42,5	41,8	41,0	40,2	39,5	38,9	38,2	37,6	37,0

24	46,2	45,3	44,4	43,7	42,8	42,0	41,3	40,6	39,9	39,2	38,6
25	48,1	47,2	46,3	45,4	44,6	43,8	43,0	42,3	41,6	40,9	40,2
26	50,0	49,1	48,1	47,4	46,4	45,6	44,8	44,0	43,2	42,5	41,9
27	52,0	51,0	50,0	49,1	48,2	47,3	46,5	45,7	44,9	44,2	43,5
28	54,0	52,9	51,9	51,0	50,0	49,1	48,2	47,4	46,6	45,8	45,1
29	55,9	54,8	53,8	52,9	51,8	50,9	50,0	49,2	48,3	47,5	46,8
30	57,9	56,7	55,6	54,6	53,6	52,7	51,7	50,9	50,0	49,2	48,4
31	59,8	58,6	57,5	56,6	55,4	54,4	53,5	52,6	51,7	50,8	50,0
32	61,7	60,5	59,4	58,4	57,2	56,2	55,2	54,3	53,4	52,5	51,6
33	63,7	62,4	61,2	60,2	59,0	57,9	57,0	56,0	55,0	54,1	53,3
34	65,6	64,3	63,1	62,0	60,8	59,8	58,7	57,7	56,7	55,8	54,9
35	67,6	66,2	65,0	63,9	62,6	61,5	60,4	59,4	58,4	57,4	56,5
36	69,5	68,1	66,9	65,8	64,4	63,3	62,2	61,1	60,1	59,1	58,2
37	71,5	70,0	68,7	67,5	66,2	65,1	63,9	62,8	61,8	60,7	59,8
38	73,5	72,0	70,6	69,4	68,0	66,8	65,7	64,6	63,4	62,4	61,4
39	75,4	73,9	72,5	71,3	69,8	68,6	67,4	66,3	65,1	64,0	63,0
40	77,3	75,8	74,4	73,1	71,6	70,4	69,2	68,0	66,8	65,7	64,7
41	79,3	77,7	76,2	74,9	73,5	72,2	70,9	69,7	68,5	67,4	66,3
42	81,2	79,6	78,1	76,8	75,3	73,9	72,6	71,4	70,2	69,0	67,9
43	83,2	81,5	80,0	78,6	77,1	76,7	74,4	73,1	71,9	70,7	69,6
44	85,1	83,4	81,8	80,5	78,9	77,5	76,1	74,8	73,6	72,3	71,2
45	87,0	85,4	83,7	82,3	80,7	79,3	77,9	76,6	75,2	73,9	72,8
46	89,0	87,3	85,6	84,0	82,5	81,0	79,6	78,3	76,9	75,6	74,4
47	91,0	89,2	87,5	85,9	84,3	82,8	81,4	80,0	78,6	77,3	76,1
48	93,0	91,1	89,3	87,8	86,1	84,6	83,1	81,7	80,3	78,9	77,7
49	94,9	93,0	91,2	89,5	87,9	86,3	84,8	83,4	82,0	80,6	79,3
50	96,9	95,0	93,1	91,4	89,7	88,1	86,6	85,1	83,6	82,3	81,0
51	98,6	96,8	95,0	93,9	91,5	89,9	88,3	86,8	85,3	83,9	82,6
52		98,7	96,8	95,0	93,3	91,7	90,1	88,5	87,0	85,6	84,2
53			98,7	96,9	95,1	93,4	91,8	90,3	88,7	87,2	85,8
54				98,7	96,9	95,2	93,5	92,0	90,4	88,9	87,5
55					98,7	97,0	95,3	93,7	92,0	90,5	89,1
56						98,8	97,0	95,4	93,7	92,2	90,7
57							98,8	97,1	95,4	93,8	92,4
58								98,8	97,1	95,5	94,0
59									98,8	97,1	95,6
60										98,8	97,2
61											98,9

m	n										
	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
1	1,12	1,10	1,09	1,07	1,05	1,04	1,02	1,01	0,99	0,98	0,97
2	2,72	2,68	2,64	2,60	2,56	2,52	2,48	2,45	2,41	2,38	2,35
3	4,33	4,25	4,19	4,13	4,07	4,00	3,95	3,90	3,83	3,78	3,73
4	5,93	5,83	5,75	5,66	5,57	5,49	5,41	5,34	5,25	5,18	5,10
5	7,53	7,41	7,30	7,19	7,08	6,98	6,87	6,77	6,67	6,58	6,49
6	9,14	8,98	8,85	8,72	8,58	8,46	8,33	8,22	8,09	7,98	7,87
7	10,7	10,6	10,4	10,2	10,1	9,94	9,80	9,66	9,51	9,38	9,25
8	12,3	12,1	12,0	11,8	11,6	11,4	11,2	11,1	10,9	10,8	10,6
9	13,9	13,7	13,5	13,8	13,1	12,9	12,7	12,6	12,4	12,2	12,0
10	15,6	15,3	15,1	14,8	14,6	14,4	14,2	14,0	13,8	13,6	13,4
11	17,2	16,9	16,6	16,4	16,1	15,9	15,6	15,4	15,2	15,0	14,8
12	18,8	18,4	18,2	17,9	17,6	17,4	17,1	16,9	16,6	16,4	16,2
13	20,4	20,0	19,7	19,4	19,1	18,8	18,6	18,3	18,0	17,8	17,5
14	22,0	21,6	21,3	20,9	20,6	20,3	20,0	19,8	19,5	19,2	18,9
15	23,6	23,2	22,8	22,5	22,1	21,8	21,5	21,2	20,9	20,6	20,3
16	25,2	24,8	24,4	24,0	23,6	23,3	22,9	22,6	22,3	22,0	21,7
17	26,8	26,3	25,9	25,5	25,2	24,8	24,4	24,1	23,7	23,4	23,1
18	28,4	27,9	27,5	27,1	26,6	26,3	25,9	25,5	25,1	24,8	24,4
19	30,0	29,5	29,0	28,6	28,2	27,8	27,3	27,0	26,6	26,2	25,8
20	31,6	31,1	30,6	30,1	29,7	29,2	28,8	28,4	28,0	27,6	27,2
21	33,2	32,6	32,2	31,6	31,2	30,7	30,2	29,8	29,4	29,0	28,6
22	34,8	34,2	33,7	33,2	32,7	32,2	31,7	31,3	30,8	30,4	30,0
23	36,4	35,8	35,2	34,7	34,2	33,7	33,2	32,8	32,2	31,8	31,3
24	38,0	37,4	36,8	36,2	35,7	35,2	34,6	34,2	33,6	33,2	32,7
25	39,6	39,0	38,4	37,8	37,2	36,7	36,1	35,6	35,1	34,6	34,1
26	41,2	40,5	39,9	39,3	38,7	38,1	37,6	37,1	36,5	36,0	35,5
27	42,8	42,1	41,5	40,8	40,2	39,6	39,0	38,5	37,9	37,4	36,9
28	44,4	43,7	43,0	42,4	41,7	41,1	40,5	40,0	39,3	38,8	38,2
29	46,0	45,2	44,6	43,9	43,2	42,6	41,9	41,4	40,8	40,2	39,6
30	47,6	46,8	46,1	45,4	44,7	44,1	43,4	42,8	42,2	41,6	41,0
31	49,2	48,4	47,7	46,9	46,2	45,6	44,9	44,3	43,6	43,0	42,4
32	50,8	50,0	49,2	48,5	47,7	47,0	46,3	45,7	45,0	44,4	43,8

33	52,4	51,6	50,8	50,0	49,2	48,5	47,8	47,2	46,4	45,8	45,2
34	54,0	53,1	52,3	51,5	50,8	50,0	49,3	48,6	47,8	47,2	46,5
35	55,6	54,7	53,9	53,0	52,3	51,5	50,7	50,0	49,3	48,6	47,9
36	57,2	56,3	55,4	54,6	53,8	53,0	52,2	51,5	50,7	50,0	49,3
37	58,8	57,9	57,0	56,1	55,3	54,5	53,6	52,9	52,1	51,4	50,7
38	60,4	59,4	58,6	57,6	56,8	55,9	55,1	54,4	53,5	52,8	52,1
39	62,0	61,0	60,1	59,2	58,3	57,4	56,6	55,8	55,0	54,2	53,4
40	63,6	62,6	61,6	60,7	59,8	58,9	58,0	57,3	56,4	55,6	54,8
41	65,2	64,2	63,2	62,2	61,3	60,4	59,5	58,7	57,8	57,0	56,2
42	66,8	65,8	64,8	63,8	62,8	61,9	60,9	60,2	59,2	58,4	57,6
43	68,4	67,3	66,3	65,3	64,3	63,4	62,4	61,6	60,6	59,8	59,0
44	70,0	68,9	67,9	66,8	65,8	64,8	63,9	63,0	62,0	61,2	60,3
45	71,6	70,5	69,4	68,4	68,3	66,3	65,4	64,5	63,5	62,6	61,7
46	73,3	72,1	71,0	69,9	69,8	67,8	66,8	65,9	64,9	64,0	63,1
47	74,9	73,6	72,5	71,4	70,3	69,3	68,3	67,4	66,3	65,4	64,5
48	76,5	75,2	74,1	72,9	71,8	70,8	69,7	68,8	67,7	66,8	65,9
49	78,1	76,8	75,6	74,5	73,3	72,3	71,2	70,2	69,2	68,2	67,2
50	79,7	78,4	77,2	76,0	74,8	73,8	72,7	71,7	70,6	69,6	68,6
51	81,3	80,0	78,7	77,5	76,4	75,2	74,1	73,1	72,0	71,0	70,0
52	82,9	81,5	80,3	79,0	77,9	76,7	75,6	74,5	73,4	72,4	71,4
53	84,5	83,1	81,8	80,6	79,4	78,2	77,0	76,0	74,8	73,8	72,8
54	86,1	84,7	83,4	82,1	80,9	79,7	78,5	77,5	76,2	75,2	74,2
55	87,7	86,3	85,0	83,6	82,4	81,2	80,0	78,9	77,7	76,6	75,5
56	89,3	87,8	86,5	85,2	83,9	82,7	81,4	80,4	79,1	78,0	76,9
57	90,9	89,4	88,0	86,7	85,4	84,1	82,9	81,8	80,5	79,4	78,3
58	92,5	91,0	89,6	88,2	86,9	85,6	84,4	83,2	81,9	80,8	79,7
59	94,1	92,6	91,2	89,8	88,4	87,1	85,8	84,7	83,4	82,2	81,1
60	95,7	94,1	92,7	91,3	89,9	88,6	87,3	86,1	84,8	83,6	82,4
61	97,3	95,7	94,3	92,8	91,4	90,1	88,7	87,5	86,2	85,0	83,8
62	98,9	97,3	95,8	94,3	92,9	91,6	90,2	89,0	87,6	86,4	85,2
63		98,9	97,4	95,9	94,4	93,0	91,7	90,4	89,0	87,8	86,6
64			98,9	97,4	95,9	94,5	93,1	91,9	90,5	89,2	88,0
65				98,9	97,4	96,0	94,6	93,3	91,9	90,6	89,4
66					98,9	97,5	96,0	94,8	93,3	92,0	90,7
67						99,0	97,5	96,2	94,7	93,4	92,1
68							99,0	97,6	96,1	94,8	93,5

m	n										
	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
69								99,0	97,6	96,2	94,9
70									99,0	97,6	96,2
71										99,0	97,6
72											99,0

m	n												
	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
1	0,95	0,94	0,93	0,92	0,90	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82
2	2,36	2,28	2,25	2,23	2,20	2,17	2,14	2,11	2,09	2,06	2,04	2,02	1,99
3	3,67	3,63	3,58	3,54	3,49	3,45	3,40	3,36	3,32	3,28	3,24	3,20	3,17
4	5,03	4,97	4,91	4,85	4,78	4,73	4,66	4,60	4,54	4,49	4,44	4,38	4,33
5	6,38	6,32	6,23	6,16	6,07	6,01	5,92	5,84	5,77	5,71	5,64	5,57	5,50
6	7,74	7,66	7,56	7,47	7,36	7,29	7,18	7,08	7,00	6,92	6,84	6,76	6,68
7	9,10	9,00	8,88	8,78	8,66	8,57	8,43	8,32	8,23	8,13	8,03	7,94	7,85
8	10,5	10,3	10,2	10,1	9,95	9,85	9,69	9,56	9,46	9,35	9,23	9,12	9,01
9	11,8	11,7	11,5	11,4	11,2	11,1	10,9	10,8	10,7	10,6	10,4	10,3	10,2
10	13,2	13,0	12,9	12,7	12,5	12,4	12,2	12,0	11,9	11,8	11,6	11,5	11,4
11	14,5	14,4	14,2	14,0	13,8	13,7	13,5	13,3	13,1	13,0	12,8	12,7	12,5
12	15,9	15,7	15,5	15,3	15,1	14,9	14,7	14,5	14,3	14,2	14,0	13,9	13,7
13	17,3	17,1	16,8	16,6	16,4	16,2	16,0	15,8	15,6	15,4	15,2	15,0	14,9
14	18,6	18,4	18,2	17,9	17,7	17,5	17,2	17,0	16,8	16,6	16,4	16,2	16,0
15	20,0	19,8	19,5	19,2	19,0	18,8	18,5	18,3	18,0	17,8	17,6	17,4	17,2
16	21,3	21,1	20,8	20,6	20,3	20,0	19,8	19,5	19,3	19,1	18,8	18,6	18,4
17	22,7	22,4	22,1	21,9	21,6	21,2	21,0	20,7	20,5	20,3	20,0	19,8	19,6
18	24,1	23,8	23,5	23,2	22,9	22,6	22,3	22,0	21,7	21,5	21,2	21,0	20,7
19	25,4	25,1	24,8	24,5	24,2	23,8	23,5	23,2	23,0	22,7	22,4	22,2	21,9

20	26,8	26,5	26,1	25,8	25,4	25,1	24,8	24,5	24,2	23,9	23,6	23,3	23,1
21	28,1	27,8	27,4	27,1	26,7	26,4	26,1	25,7	25,4	25,1	24,8	24,5	24,2
22	29,5	29,2	28,8	28,4	28,0	27,7	27,3	27,0	26,6	26,3	26,0	25,7	25,4
23	30,8	30,5	30,1	29,8	29,3	28,9	28,6	28,2	27,9	27,6	27,2	26,9	26,6
24	32,2	31,8	31,4	31,1	30,6	30,2	29,8	29,4	29,1	28,8	28,4	28,1	27,8
25	33,6	33,2	32,8	32,4	31,9	31,5	31,1	30,7	30,3	30,3	29,6	29,3	28,9
26	34,9	34,5	34,1	33,7	32,2	32,8	32,4	31,9	31,6	31,2	30,8	30,4	30,1
27	36,3	35,9	35,4	35,0	34,5	34,1	33,6	33,2	32,8	32,4	32,0	31,6	31,2
28	37,7	37,2	36,7	36,3	35,8	35,3	34,9	34,4	34,0	33,6	33,2	32,8	32,4
29	39,1	38,6	38,0	37,6	37,1	36,6	36,1	35,7	35,2	34,8	34,4	34,0	33,6
30	40,5	39,9	39,4	38,9	38,4	37,9	37,4	36,9	36,5	36,1	35,6	35,2	34,8
31	41,9	41,2	40,7	40,2	39,7	39,2	38,7	38,2	37,7	37,3	36,8	36,4	35,9
32	43,2	42,6	42,0	41,5	41,0	40,4	39,9	39,4	38,9	38,5	38,0	37,6	37,1
33	44,6	43,9	43,4	42,8	42,2	41,7	41,2	40,6	40,1	39,7	39,2	38,8	38,3
34	45,9	45,3	44,7	44,2	43,5	43,0	42,4	41,9	41,4	40,9	40,4	39,9	39,5
35	47,4	46,6	46,0	45,5	44,8	44,2	43,7	43,1	42,6	42,1	41,6	41,1	40,8
36	48,8	48,0	47,3	46,8	46,1	45,5	44,9	44,4	43,8	43,3	42,8	42,3	41,8
37	50,0	49,3	48,7	48,1	47,4	46,8	46,2	45,6	45,1	44,6	44,0	43,5	43,0
38	51,5	50,7	50,0	49,4	48,7	48,1	47,5	46,8	46,3	45,8	45,2	44,7	44,1
39	52,8	52,0	51,3	50,7	50,0	49,3	48,7	48,1	47,5	47,0	46,4	45,9	45,3
40	54,2	53,3	52,6	52,0	51,3	50,6	50,0	49,3	48,8	48,2	47,6	47,0	46,5
41	55,6	54,7	54,0	53,3	52,6	51,9	51,2	50,6	50,0	49,4	48,8	48,2	47,7
42	56,9	56,0	55,3	54,6	53,9	53,2	52,5	51,8	51,2	50,6	50,0	49,4	48,8
43	58,2	57,4	56,6	55,9	55,2	54,4	53,8	53,1	52,4	51,9	51,2	50,6	50,0
44	59,6	58,7	57,9	57,2	56,5	55,7	55,0	54,3	53,7	53,1	52,4	51,8	51,2
45	61,0	60,1	59,3	58,6	57,8	57,0	56,3	55,6	54,9	54,3	53,6	53,0	52,3
46	62,3	61,4	60,6	59,9	59,0	58,3	57,5	56,8	56,1	55,5	54,8	54,2	53,5
47	63,6	62,8	61,9	61,2	60,3	59,6	58,8	58,0	57,3	56,7	56,0	55,3	54,7
48	65,0	64,1	63,2	62,5	61,6	60,8	60,0	59,3	58,6	57,9	57,2	56,5	55,8
49	66,4	65,4	64,6	63,8	62,9	62,1	61,3	60,5	59,8	59,1	58,4	57,7	57,0
50	67,7	66,8	65,9	65,1	64,2	63,4	62,6	61,8	61,0	60,4	59,6	58,9	58,2
51	69,1	68,1	67,2	66,4	65,5	64,7	63,8	63,0	62,3	61,6	60,8	60,0	59,4
52	70,4	69,5	68,6	67,7	66,8	66,0	65,1	64,2	63,5	62,8	62,0	61,3	60,5
53	71,8	70,8	69,9	69,0	68,1	67,2	66,3	65,5	64,7	64,0	63,2	62,4	61,7
54	73,1	72,2	71,2	70,3	69,4	68,5	67,6	66,7	65,9	65,2	64,4	63,6	62,9
55	74,5	73,5	72,5	71,6	70,7	69,8	68,9	68,0	67,2	66,4	65,6	64,8	64,0
56	75,9	74,8	73,8	73,0	72,0	71,1	70,1	69,2	68,4	67,6	66,8	66,0	65,2

m	n												
	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
57	77,2	76,2	75,2	74,2	73,2	72,2	71,4	70,5	69,6	68,9	68,0	67,2	66,4
58	78,6	77,5	76,5	75,5	74,5	73,5	72,6	71,7	70,8	70,1	69,2	68,4	67,6
59	79,9	78,9	77,8	76,8	75,8	74,8	73,9	73,0	72,1	71,3	70,4	69,6	68,7
60	81,3	80,2	79,2	78,1	77,1	76,1	75,2	74,2	73,3	72,5	71,6	70,7	69,9
61	82,7	81,6	80,5	79,5	78,4	77,3	76,4	75,4	74,5	73,7	72,8	71,9	71,1
62	84,0	82,9	81,8	80,8	79,7	78,6	77,7	76,7	75,8	74,9	74,0	73,1	72,2
63	85,4	84,3	83,1	82,1	81,0	79,9	78,9	77,9	77,0	76,1	75,2	74,3	73,4
64	86,7	85,6	84,5	83,4	82,3	81,2	80,2	79,2	78,2	77,3	76,4	75,5	74,6
65	88,1	86,9	85,8	84,7	83,6	82,4	81,4	80,4	79,4	78,6	77,6	76,7	75,8
66	89,5	88,3	87,1	86,0	84,9	83,7	82,7	81,6	80,7	79,8	78,8	77,8	76,9
67	90,8	89,6	88,4	87,4	86,2	85,0	84,0	82,9	81,9	81,0	80,0	79,0	78,1
68	92,2	91,0	89,8	88,7	87,5	86,3	85,2	84,1	83,1	82,2	81,2	80,2	79,3
69	93,5	92,3	91,1	90,0	88,8	87,6	86,5	85,4	84,4	83,4	82,4	81,4	80,4
70	94,9	93,7	92,4	91,3	90,0	88,9	87,8	86,6	85,6	84,6	83,6	82,6	81,6
71	96,3	95,0	93,7	92,5	91,3	90,1	89,0	87,9	86,8	85,8	84,8	83,8	82,8
72	97,6	96,4	95,1	93,9	92,6	91,4	90,3	89,1	88,0	87,1	86,0	85,0	84,0
73	99,0	97,7	96,4	95,2	93,9	92,7	91,5	90,4	89,3	88,3	87,2	86,2	85,1
74		99,0	97,7	96,5	95,2	94,0	92,3	91,6	90,5	89,5	88,4	87,3	86,3
75			99,0	97,8	96,5	95,3	94,0	92,8	91,7	90,7	89,6	88,5	87,5
76				99,1	97,8	96,5	95,3	94,1	93,0	91,9	90,8	89,7	88,6
77					99,1	97,8	96,6	95,3	94,2	93,1	92,0	90,9	89,8
78						99,1	97,8	96,6	95,4	94,4	93,2	92,1	91,0
79							99,1	97,8	96,6	95,6	94,4	93,3	92,2
80								99,1	97,9	96,8	95,6	94,4	93,3
81									99,1	98,0	96,8	95,6	94,5
82										99,2	98,0	96,8	95,7
83											99,2	98,0	96,8
84												99,2	98,0
85													99,2

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Максимальная упругость водяного пара (в миллибарах)

Температура воды, град.	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
—10	2,9	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7	2,7
—9	3,1	3,1	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9
—8	3,3	3,3	3,3	3,3	3,2	3,2	3,2	3,2	3,1	3,1
—7	3,6	3,6	3,6	3,5	3,5	3,5	3,4	3,4	3,4	3,4
—6	3,9	3,9	3,8	3,8	3,8	3,8	3,7	3,7	3,7	3,6
—5	4,2	4,2	4,2	4,1	4,1	4,1	4,0	4,0	4,0	3,9
—4	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4	4,3	4,3	4,3	4,2
—3	4,9	4,9	4,8	4,8	4,8	4,7	4,7	4,6	4,6	4,6
—2	5,3	5,2	5,2	5,2	5,1	5,1	5,0	5,0	5,0	4,9
—1	5,7	5,6	5,6	5,6	5,5	5,5	5,4	5,4	5,4	5,3
0	6,1	6,2	6,2	6,2	6,3	6,3	6,4	6,4	6,5	6,5
1	6,6	6,6	6,7	6,7	6,8	6,8	6,9	6,9	7,0	7,0
2	7,0	7,1	7,2	7,2	7,3	7,3	7,4	7,4	7,5	7,5
3	7,6	7,6	7,7	7,7	7,8	7,8	7,9	8,0	8,0	8,1
4	8,1	8,2	8,2	8,3	8,4	8,4	8,5	8,5	8,6	8,7
5	8,7	8,8	8,8	8,9	9,0	9,0	9,1	9,2	9,2	9,3
6	9,4	9,4	9,5	9,5	9,6	9,7	9,7	9,8	9,9	10,0
7	10,0	10,1	10,2	10,2	10,3	10,4	10,4	10,5	10,6	10,6
8	10,7	10,8	10,9	11,0	11,0	11,1	11,2	11,2	11,3	11,4
9	11,5	11,6	11,6	11,7	11,8	11,9	12,0	12,0	12,1	12,2
10	12,3	12,4	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,0
11	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9
12	14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	14,6	14,7	14,8	14,9
13	15,0	15,1	15,2	15,3	15,4	15,5	15,6	15,7	15,8	15,9
14	16,0	16,1	16,2	16,3	16,4	16,5	16,6	16,7	16,8	17,0
15	17,1	17,2	17,3	17,4	17,5	17,6	17,7	17,8	18,0	18,1
16	18,2	18,3	18,4	18,5	18,7	18,8	18,9	19,0	19,1	19,3
17	19,4	19,5	19,6	19,8	19,9	20,0	20,1	20,3	20,4	20,5
18	20,6	20,8	20,9	21,0	21,2	21,3	21,4	21,6	21,7	21,8

Температура воды, град.	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
19	22,0	22,1	22,3	22,4	22,5	22,7	22,8	23,1	23,1	23,2
20	23,4	23,5	23,7	23,8	24,0	24,1	24,3	24,4	24,6	24,7
21	24,9	25,0	25,2	25,4	25,5	25,7	25,8	26,0	26,1	26,3
22	26,5	26,6	26,8	26,9	27,1	27,3	27,4	27,6	27,8	27,9
23	28,1	28,3	28,5	28,6	28,8	29,0	29,2	29,3	29,5	29,7
24	29,9	30,0	30,2	30,4	30,6	30,8	31,0	31,1	31,3	31,5
25	31,7	31,9	32,1	32,3	32,5	32,7	32,9	33,0	33,2	33,4
26	33,6	33,8	34,0	34,2	34,4	34,6	34,9	35,1	35,3	35,5
27	35,7	35,9	36,1	36,3	36,5	36,8	37,0	37,2	37,4	37,6
28	37,8	38,1	38,3	38,5	38,7	39,0	39,2	39,4	39,6	39,9
29	40,1	40,3	40,6	40,8	41,0	41,3	41,5	41,8	42,0	42,2
30	42,5	42,7	43,0	43,2	43,5	43,7	44,0	44,2	44,5	44,7
31	45,0	45,2	45,5	45,8	46,0	46,3	46,5	46,8	47,1	47,3
32	47,5	47,9	48,1	48,4	48,7	49,0	49,2	49,5	49,8	50,1
33	50,4	50,6	50,9	51,2	51,5	51,8	52,1	52,4	52,7	53,0
34	53,3	53,6	53,8	54,2	54,5	54,8	55,1	55,4	55,7	56,0
35	56,3	56,6	56,9	57,2	57,6	57,9	58,2	58,5	58,8	59,2
36	59,5	59,8	60,1	60,5	60,8	61,1	61,5	61,8	62,2	62,5
37	62,8	63,2	63,5	63,9	64,2	64,6	64,9	65,3	65,6	66,0
38	66,3	66,7	67,0	67,4	67,8	68,2	68,5	68,9	69,3	69,3
39	70,0	70,4	70,8	71,1	71,5	71,9	72,3	72,7	73,1	72,5
40	73,8	74,2	74,6	75,0	75,4	75,8	76,2	76,6	77,1	77,5
41	77,9	78,3	78,7	79,1	79,5	80,0	80,4	80,8	81,2	81,7
42	82,1	82,5	83,0	83,4	83,8	84,3	84,7	85,2	85,6	86,1
43	86,5	87,0	87,4	87,9	88,3	88,8	89,2	89,7	90,2	90,6
44	91,1	91,6	92,1	92,6	93,0	93,5	94,0	94,5	95,0	95,5
45	96,0	96,4	96,9	97,4	97,9	98,4	99,0	99,4	100,0	100,5
46	101,0	101,5	102,0	102,6	103,1	103,6	104,1	104,6	105,2	105,7
47	106,3	106,8	107,3	107,9	108,4	109,0	109,5	110,1	110,6	111,2
48	111,8	112,3	112,9	113,5	114,0	114,6	115,2	115,8	116,3	116,9
49	117,5	118,1	118,7	119,3	119,9	120,5	121,1	121,7	122,3	122,9
50	123,5	124,1	124,7	125,4	126,0	126,6	127,2	127,9	128,5	129,1

Величины поглощенной водой суммарной радиации солнца S_p (в *кал/см² сут*) в зависимости от широты местности, общей (N_o) и нижней ($N_н$) облачности

$N_н$	N_o	Северная широта, град.																				
		30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
									Январь													
0	0	312	292	272	252	232	212	192	172	152	132	113	98	83	68	53	38	32	26	20	14	8
	1	299	282	261	242	223	204	185	166	147	128	109	94	79	65	50	36	30	24	19	13	8
	2	288	270	252	234	214	195	176	158	140	122	104	90	76	62	48	35	29	24	18	13	8
	3	275	258	240	223	205	188	170	153	135	118	100	86	73	59	46	33	27	22	17	12	7
	4	262	246	229	213	196	179	162	146	129	112	95	82	69	57	44	32	27	22	17	12	7
	5	249	233	217	201	185	169	153	137	121	105	89	77	65	54	42	31	26	21	16	11	7
	6	236	221	206	190	175	160	144	128	113	98	83	72	61	50	39	29	24	20	15	11	7
	7	222	207	193	178	164	149	135	121	106	92	78	68	58	48	38	28	23	19	14	10	6
	8	208	195	181	167	154	140	127	113	100	86	73	65	55	44	35	26	22	18	14	10	6
	9	193	181	168	155	143	130	118	105	93	80	68	59	50	42	33	25	21	17	13	9	6
	10	180	169	157	145	133	121	110	98	86	74	62	54	46	39	31	24	20	16	12	8	5
	1	291	272	254	235	217	198	180	161	143	124	106	91	77	63	49	35	29	23	17	11	6
	2	279	262	244	226	208	190	173	155	137	119	101	87	73	59	45	32	26	21	16	11	6
	3	267	250	233	216	199	182	165	148	131	114	97	83	70	57	44	31	26	21	16	11	6
	4	254	237	221	205	189	173	156	140	124	108	92	79	66	54	41	29	24	19	15	10	6
	5	240	225	209	194	179	164	146	132	117	102	87	75	63	51	39	28	23	18	14	9	5
	6	227	212	198	183	169	154	140	125	111	96	82	70	59	48	37	26	21	17	13	9	5
	7	214	200	187	173	159	145	132	118	104	90	76	65	55	44	34	24	20	16	12	8	5
	8	200	187	174	161	148	135	123	110	97	84	71	61	51	42	32	23	19	15	11	7	4
	9	186	174	162	150	138	126	113	101	89	77	65	56	47	38	29	21	17	14	10	7	4
	10	172	161	149	138	127	116	104	92	81	70	59	57	43	35	27	20	16	13	10	7	4

$N_н$	$N_о$	Северная широта, град.																				
		30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
2	2	270	253	236	219	202	185	167	150	133	116	99	86	73	59	46	32	26	21	15	10	5
	3	259	243	226	210	193	177	160	143	127	110	94	81	68	55	42	30	25	20	15	10	5
	4	246	231	215	199	184	168	153	137	122	106	90	77	65	52	40	28	23	18	14	9	5
	5	232	217	202	187	173	158	143	128	114	99	84	72	60	49	37	26	21	17	13	9	5
	6	219	205	191	177	163	149	135	121	107	93	79	68	57	46	35	24	20	16	12	8	5
	7	205	192	179	166	153	139	126	113	100	87	74	63	53	42	32	22	18	14	11	7	4
	8	192	180	167	155	142	130	118	105	93	80	68	58	48	39	29	20	16	13	10	7	4
	9	178	166	155	143	132	120	109	93	86	74	62	53	44	35	26	18	15	12	9	6	4
	10	164	153	142	131	121	110	99	88	78	67	56	48	40	32	24	16	13	11	8	6	4
3	3	250	234	218	202	187	171	155	139	124	108	92	79	67	55	43	31	25	20	15	10	5
	4	237	222	207	192	177	162	147	132	117	102	87	75	63	51	39	28	23	18	14	9	5
	5	224	210	196	181	167	152	138	123	109	95	81	70	59	48	37	26	21	17	13	9	5
	6	210	197	183	170	156	143	129	116	102	89	76	65	54	44	33	23	19	15	11	7	4
	7	196	183	170	158	145	133	121	108	96	83	71	60	50	40	30	20	16	13	10	7	4
	8	184	172	160	148	136	124	113	101	89	77	65	55	46	36	27	18	15	12	9	6	4
	9	170	159	148	137	126	115	103	92	81	70	59	50	41	32	23	15	13	10	9	5	3
	10	156	146	136	125	115	105	94	84	73	63	53	45	37	29	21	13	11	9	7	5	3
4	4	229	214	199	185	171	156	142	127	113	94	84	72	61	50	39	28	23	18	13	8	4
	5	216	202	188	175	161	147	133	120	106	92	78	67	56	46	35	25	20	16	12	8	4
	6	202	189	176	163	150	137	125	112	99	86	73	62	52	42	32	22	18	14	11	7	4
	7	189	177	165	153	141	129	116	104	92	80	68	58	48	38	28	19	15	12	9	6	3
	8	175	164	153	141	130	119	107	96	84	73	62	52	43	34	25	16	13	10	8	5	3
	9	161	150	140	129	119	108	98	87	77	66	56	47	38	30	21	13	10	8	6	4	2
	10	148	138	128	119	109	99	90	80	70	60	50	42	34	26	18	11	9	7	5	3	2
5	5	207	194	181	148	154	141	128	115	102	89	76	66	56	46	36	26	21	17	12	8	4
	6	194	182	170	158	145	133	120	108	95	83	71	59	50	41	32	23	19	15	11	7	4
	7	180	168	157	145	134	122	111	99	88	76	65	56	47	38	29	20	16	13	9	6	3
	8	167	156	145	134	124	113	102	92	81	70	59	50	42	33	25	17	14	11	8	5	3
	9	153	143	133	123	113	104	94	84	74	64	54	49	42	35	28	21	14	11	8	5	2
	10	139	130	121	112	103	94	84	75	66	57	48	41	35	29	23	17	11	8	6	4	2

6	6	185	173	161	150	138	127	115	104	92	80	68	59	52	45	38	31	24	18	13	8	3
	7	172	161	150	139	128	117	106	95	84	73	62	57	52	44	36	28	20	15	11	7	3
	8	158	148	138	128	117	107	97	86	76	66	56	49	42	35	28	22	16	12	9	6	3
	9	144	135	126	117	107	98	88	79	69	60	51	44	38	31	25	18	12	9	6	4	2
	10	130	121	113	104	96	87	79	70	62	53	45	38	32	26	20	14	8	6	5	3	2
7	7	164	154	144	133	123	112	102	91	81	70	60	53	46	40	33	27	20	15	11	6	2
	8	150	140	130	121	111	102	92	83	73	64	54	47	41	35	29	23	17	14	10	6	2
	9	136	127	118	110	101	92	83	75	66	57	48	42	36	30	25	19	14	10	7	4	1
	10	122	114	106	98	90	82	74	66	58	50	42	36	30	24	18	12	6	5	4	3	1
8	8	142	133	124	115	106	96	87	78	69	60	51	45	39	33	27	21	15	11	8	5	2
	9	128	120	112	103	95	87	78	70	61	53	45	39	33	27	21	15	9	8	6	4	2
	10	113	106	99	91	84	76	69	61	54	46	39	34	28	22	16	10	4	3	2	2	1
9	9	119	111	103	96	88	81	73	66	58	50	42	36	31	25	20	15	10	7	5	3	1
	10	105	98	91	84	77	71	64	57	50	43	36	30	25	20	14	9	4	3	2	2	1
10	10	97	91	85	78	72	65	59	52	46	39	33	28	23	18	13	8	3	2	2	1	0

Февраль

0	0	398	381	362	342	323	303	283	263	244	224	205	187	169	151	133	115	97	79	61	43	25
	1	384	365	346	328	309	290	272	253	234	215	196	178	161	144	127	110	92	75	58	41	24
	2	368	350	332	314	296	278	260	242	224	206	188	169	158	136	120	104	89	73	56	40	24
	3	352	335	318	300	283	265	248	230	213	196	179	163	147	132	116	101	85	69	54	38	23
	4	336	319	303	286	270	253	237	220	204	187	171	156	141	126	111	97	82	67	52	37	23
	5	321	305	289	273	257	241	225	209	193	177	161	147	133	119	105	91	77	63	49	35	22
	6	305	290	275	259	244	228	213	197	182	167	152	139	126	113	100	87	74	61	48	35	22
	7	289	274	259	245	230	215	201	186	172	157	142	129	117	105	93	81	68	56	44	32	20
	8	274	260	246	232	218	203	189	175	161	147	133	121	110	99	87	76	65	53	42	31	20
	9	258	245	232	218	205	191	178	164	151	137	124	113	102	92	81	71	60	49	39	28	18
	10	242	229	216	203	190	178	165	152	139	126	113	103	93	84	74	65	55	45	36	26	17
1	1	372	354	336	317	299	281	263	245	227	209	191	174	157	140	124	107	90	74	57	40	24
	2	356	339	322	304	287	270	253	235	217	200	183	167	151	135	119	103	86	71	55	39	23
	3	341	327	307	291	275	258	241	225	208	191	174	158	143	128	113	98	82	67	52	37	22
	4	325	309	294	278	262	246	230	214	198	182	166	153	139	124	110	94	79	64	50	35	21

$N_н$	$N_о$	Северная широта, град.																				
		30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
1	5	310	295	280	261	249	233	218	202	187	171	156	143	129	116	102	89	75	60	47	33	20
	6	294	279	265	250	235	220	206	191	176	162	147	134	121	108	95	83	70	57	44	31	19
	7	278	264	250	236	222	208	194	180	166	151	137	125	112	101	89	77	65	53	41	29	18
	8	262	249	236	223	209	195	182	168	155	141	128	117	106	95	84	73	62	51	40	29	18
	9	247	234	221	209	196	183	170	157	145	132	119	108	98	88	78	68	57	47	37	27	17
	10	230	218	206	193	181	169	156	144	132	120	108	98	89	80	71	62	52	43	34	25	16
2	2	345	328	311	295	278	262	245	229	212	195	178	162	147	131	116	100	85	69	54	38	23
	3	329	313	297	281	265	249	233	217	201	186	170	155	140	125	110	96	81	66	51	36	22
	4	314	299	284	269	253	238	222	207	192	176	161	147	133	119	105	91	77	63	49	35	21
	5	298	283	268	254	239	224	210	195	181	166	151	137	124	111	98	85	72	59	46	33	20
	6	282	262	254	240	226	212	198	184	170	156	142	129	117	105	92	80	68	55	43	31	19
	7	268	255	241	228	214	201	187	174	160	146	132	120	109	97	86	75	63	52	40	30	18
	8	252	239	226	214	201	188	175	162	149	136	123	112	101	91	80	70	59	48	38	27	17
	9	236	224	211	199	187	175	163	151	139	126	114	104	94	84	74	65	55	45	35	25	16
	10	220	218	196	185	173	161	150	138	127	115	103	94	85	76	67	59	50	41	32	23	15
3	3	318	303	287	272	257	242	226	210	195	180	165	150	136	121	107	93	78	64	49	35	21
	4	302	287	272	257	243	229	215	200	186	171	156	145	128	115	101	88	74	60	47	33	20
	5	287	273	259	245	231	217	203	188	174	160	146	133	120	107	95	82	69	57	44	31	19
	6	272	258	245	231	218	204	191	177	164	150	137	125	113	101	89	77	65	53	41	29	18
	7	256	243	230	217	204	191	179	166	153	140	127	116	105	94	83	72	61	50	39	28	17
	8	240	228	216	204	191	179	167	155	142	130	118	107	97	87	77	67	56	46	36	26	16
	9	225	213	201	189	178	166	155	143	132	120	108	103	93	83	73	64	54	44	34	24	15
	10	208	197	186	175	164	153	142	131	120	109	98	89	81	72	64	56	47	39	30	22	14
4	4	292	278	264	250	236	222	208	194	180	165	151	137	124	110	97	85	72	59	46	39	20
	5	276	263	250	236	223	209	195	182	168	155	142	130	113	107	83	81	69	55	43	31	19
	6	261	248	235	222	209	196	183	170	157	145	132	120	109	97	86	75	63	52	40	29	18
	7	245	233	221	209	196	184	171	159	146	134	122	111	100	90	79	69	58	47	37	26	16
	8	229	217	205	194	182	171	159	148	136	125	113	104	94	84	74	64	54	44	34	24	15
	9	213	202	191	180	169	158	147	136	125	114	103	94	85	76	67	57	49	40	31	22	14
	10	198	170	177	166	156	145	135	124	114	103	93	85	77	69	61	53	45	37	29	21	13

5	5	265	252	239	226	214	201	188	176	162	149	136	124	112	100	89	77	65	54	42	30	19
	6	250	238	226	213	201	188	176	164	151	139	127	116	105	94	83	72	61	50	39	28	18
	7	234	222	210	198	187	175	164	152	140	129	117	106	96	86	76	66	56	46	36	26	16
	8	218	207	196	185	174	163	152	141	130	119	108	97	89	80	70	61	52	42	33	24	15
	9	202	192	182	171	161	150	140	129	119	108	98	89	81	72	64	56	47	39	30	22	14
	10	186	176	166	156	146	137	127	117	108	98	88	79	71	64	57	50	42	34	27	19	12
6	6	238	226	214	203	191	180	168	157	145	134	122	111	101	90	80	69	59	48	38	27	17
	7	223	212	201	190	179	168	157	146	135	124	113	102	92	82	72	63	53	43	34	24	15
	8	206	196	186	175	165	154	143	132	122	112	102	93	84	75	66	57	49	40	31	22	14
	9	191	181	171	161	152	142	132	122	112	103	93	85	77	69	61	53	45	37	29	21	13
	10	175	166	157	148	139	129	120	111	101	92	83	76	68	61	54	47	39	32	25	18	11
7	7	212	202	191	181	170	160	149	139	129	118	108	97	89	80	70	61	52	42	33	24	15
	8	196	186	176	166	156	146	136	127	117	108	98	89	81	72	64	55	47	38	30	21	13
	9	180	171	162	152	143	134	124	115	106	97	88	80	72	64	57	49	41	34	26	18	11
	10	164	155	146	138	129	121	112	104	95	87	78	70	63	57	50	44	37	30	23	16	10
8	8	184	175	166	157	147	138	129	119	110	101	92	84	76	68	60	52	44	36	28	20	13
	9	168	159	150	142	133	125	116	108	99	91	82	75	68	61	54	47	40	33	26	19	12
	10	152	144	136	128	120	113	105	97	89	81	73	66	60	54	47	41	35	28	22	16	10
9	9	157	149	141	133	125	117	109	101	93	85	77	70	62	56	50	43	36	30	23	16	10
	10	141	133	126	118	110	103	95	88	80	73	68	62	56	50	44	38	32	26	20	14	9
10	10	130	123	116	109	103	96	89	83	76	69	62	57	52	46	41	35	29	23	18	13	8

Март

0	0	500	485	470	455	440	425	410	395	380	365	350	329	308	288	267	247	226	205	185	164	144
	1	482	467	452	438	423	409	394	380	365	351	336	316	296	276	256	236	216	196	176	156	137
	2	465	451	436	422	407	393	378	364	349	335	321	302	283	264	245	226	207	188	169	150	131
	3	448	434	420	406	392	377	363	348	334	320	306	287	269	251	233	215	197	179	161	143	125
	4	432	418	404	390	376	362	348	334	320	306	292	274	257	239	222	205	187	170	152	135	118
	5	414	400	386	373	359	346	332	319	305	291	277	260	244	227	211	194	178	161	145	128	112
	6	396	383	370	356	342	329	315	302	288	275	262	246	230	215	199	184	168	152	137	121	106
	7	380	367	354	340	327	313	300	286	273	260	247	232	217	202	187	173	158	143	128	113	99

$N_н$	$N_о$	Северная широта, град.																				
		30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
0	8	362	349	336	323	310	297	284	271	258	245	232	218	204	190	176	162	148	134	120	106	93
	9	344	331	318	306	293	280	268	255	243	230	217	204	191	178	165	152	139	126	113	100	87
	10	326	314	302	289	277	264	252	239	227	215	203	190	178	166	154	142	129	117	105	93	81
1	1	466	452	438	424	410	396	382	368	354	340	326	306	287	268	249	230	211	192	173	154	135
	2	450	436	422	408	395	381	368	354	340	326	312	293	275	256	238	220	201	183	164	146	128
	3	432	419	405	391	378	364	351	337	324	310	297	269	251	244	226	209	191	173	156	138	121
	4	415	402	389	376	363	349	336	322	309	295	282	265	248	231	215	198	181	165	148	131	115
	5	397	384	371	358	345	332	320	307	294	281	268	252	236	220	204	188	172	156	140	124	109
	6	381	368	355	342	329	317	304	292	279	266	253	237	222	207	192	177	162	147	132	117	102
	7	364	351	338	326	313	301	288	276	263	251	238	223	209	195	181	167	152	138	124	110	96
	8	345	333	321	309	297	285	272	260	247	235	223	209	196	182	169	156	142	129	115	102	89
	9	327	315	303	291	279	267	255	243	232	220	208	195	183	170	158	145	133	120	108	95	83
	10	309	297	286	274	263	251	240	228	217	205	193	181	169	158	146	135	123	111	100	88	77
2	2	433	420	407	394	381	367	354	341	328	315	302	293	275	256	238	219	201	182	164	145	127
	3	415	402	389	374	364	351	339	326	314	301	288	271	254	237	220	204	187	170	153	136	120
	4	398	385	373	360	348	335	323	310	298	285	273	257	241	225	209	193	177	161	145	129	113
	5	381	369	357	344	331	319	307	294	282	270	258	243	228	213	198	183	166	151	136	121	106
	6	364	352	340	328	316	304	292	280	268	256	244	229	215	200	186	171	157	143	128	114	100
	7	346	335	323	311	300	288	277	265	253	241	229	218	204	188	174	161	147	133	120	106	93
	8	328	317	305	294	282	271	259	248	236	225	214	201	188	175	162	150	137	124	111	98	86
	9	310	299	288	277	266	254	243	232	221	210	199	187	175	163	151	139	127	115	103	91	79
	10	292	281	270	259	248	237	226	215	205	194	183	172	161	150	139	128	107	106	95	84	73
3	3	399	387	375	363	351	339	327	315	303	291	279	262	246	230	214	197	181	165	149	133	117
	4	382	370	358	346	334	322	310	299	283	276	264	248	233	218	203	188	172	157	142	127	112
	5	364	352	341	329	318	306	295	283	272	260	249	234	220	205	191	177	162	148	133	119	105
	6	348	337	325	314	302	291	279	268	256	245	234	220	206	193	179	166	152	138	125	111	98
	7	330	319	308	297	286	274	263	252	241	230	219	206	193	180	167	155	142	129	116	103	91
	8	312	301	290	279	269	258	248	237	226	215	204	192	180	168	156	144	132	120	108	96	84
	9	294	283	273	262	252	241	231	220	210	199	189	177	166	155	144	133	121	110	99	88	77
	10	276	266	256	246	236	226	216	206	196	185	175	164	154	143	133	122	112	101	91	80	70

4	4	366	355	344	333	321	310	298	287	276	265	254	249	235	220	195	181	166	151	137	122	108
	5	347	336	325	315	304	294	283	273	262	251	240	226	212	198	184	170	156	142	128	114	101
	6	331	320	310	299	289	278	268	257	247	236	225	211	198	185	172	159	146	133	120	107	94
	7	314	304	294	283	273	262	252	241	231	220	210	197	185	172	160	148	136	123	111	99	87
	8	296	286	276	266	256	245	235	225	215	205	195	183	172	160	149	137	126	114	103	91	80
	9	278	268	258	248	239	229	220	210	200	190	180	169	158	147	137	126	115	105	94	83	73
	10	260	250	241	231	222	212	203	193	184	174	165	155	145	135	125	115	105	95	85	75	66
5	5	332	322	312	302	291	281	271	260	250	240	230	216	203	190	177	164	150	137	124	111	98
	6	315	305	295	285	275	266	256	246	236	226	216	203	190	178	165	153	140	127	115	102	90
	7	297	287	278	268	259	250	240	230	221	211	201	189	177	165	153	142	130	118	106	94	83
	8	280	271	262	252	243	233	224	214	205	195	186	175	164	153	142	131	120	109	98	87	76
	9	262	253	244	235	226	217	207	198	189	180	171	160	150	140	130	120	109	99	89	79	69
	10	244	235	226	217	209	200	191	183	174	165	156	146	137	127	118	109	99	90	80	71	62
6	6	298	289	280	271	262	252	243	234	224	215	206	194	182	170	158	147	135	123	111	99	88
	7	281	272	263	254	245	236	228	219	210	201	192	180	169	158	147	136	124	113	102	91	80
	8	263	254	245	237	228	220	211	203	194	185	176	165	155	145	134	124	114	103	93	83	73
	9	245	237	229	221	212	204	195	187	178	170	162	152	142	133	123	114	104	94	85	75	66
	10	227	219	211	203	195	187	179	171	163	155	147	138	128	120	111	103	94	85	76	67	59
7	7	264	256	248	240	232	224	216	208	200	191	183	172	161	151	140	130	119	108	97	87	77
	8	246	238	230	222	214	206	198	190	182	175	167	160	150	140	130	120	109	99	89	79	69
	9	229	222	214	206	198	190	183	176	168	160	152	143	134	125	116	107	98	89	80	71	62
	10	211	203	196	189	182	174	167	159	152	144	137	128	120	112	103	95	86	78	70	62	54
8	8	230	223	215	208	201	194	187	180	172	165	158	148	139	130	121	112	102	93	84	75	66
	9	212	205	198	191	184	177	171	164	157	150	143	137	128	119	110	102	93	84	75	66	58
	10	194	187	180	174	167	161	154	148	141	135	128	120	112	104	97	85	81	74	66	58	51
9	9	196	190	184	178	171	165	158	152	145	139	133	124	116	109	101	93	85	78	70	62	55
	10	178	172	166	160	154	148	142	136	130	124	118	110	103	96	89	82	75	68	61	54	47
10	10	160	155	150	145	140	134	129	123	118	113	108	101	95	88	82	75	69	62	56	49	43

Апрель

0	0	590	582	573	565	556	548	539	531	522	514	505	489	474	458	442	426	411	395	379	364	348
	1	570	561	552	543	535	526	518	509	501	492	483	468	453	438	423	408	394	379	364	349	334

$N_н$	$N_о$	Северная широта, град.																				
		30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
0	2	550	541	532	523	514	505	496	487	478	470	461	447	432	418	403	389	375	360	346	331	317
	3	530	522	514	505	497	488	480	471	463	454	446	432	417	403	388	374	360	345	331	316	302
	4	513	504	495	486	478	469	461	452	444	435	426	412	398	384	370	356	342	328	314	300	286
	5	493	484	476	467	458	450	441	433	425	416	408	394	381	367	353	340	326	312	298	285	271
	6	472	464	456	447	439	430	421	413	405	396	388	375	362	348	335	322	309	296	282	269	256
	7	455	446	437	428	420	411	402	394	386	378	369	356	343	330	317	304	292	279	266	253	240
	8	435	426	417	409	401	392	384	375	367	358	350	338	325	312	300	288	275	262	250	238	225
	9	417	408	399	390	382	373	365	356	348	339	330	318	306	294	282	270	257	245	233	221	209
	10	398	379	370	361	352	344	345	337	328	320	311	299	288	276	264	252	241	229	217	206	194
1	1	550	542	534	525	516	528	499	491	482	474	466	452	438	424	410	396	381	367	353	339	325
	2	530	522	513	505	496	488	479	471	462	454	445	432	418	404	391	378	364	350	337	324	310
	3	511	503	495	487	479	471	463	456	448	440	432	418	404	391	377	363	349	335	322	308	294
	4	492	484	476	468	460	452	444	436	428	420	412	399	385	372	359	346	332	319	306	292	279
	5	472	464	456	448	440	432	424	416	408	401	393	380	367	354	341	328	315	302	289	276	263
	6	453	445	437	430	422	414	406	398	390	382	374	361	349	336	324	311	298	286	273	261	248
	7	435	427	419	411	403	395	387	378	370	362	354	342	330	318	306	294	281	269	257	245	233
	8	415	407	399	390	382	374	366	358	350	342	334	322	311	299	287	276	264	252	241	229	217
	9	397	389	381	373	365	356	348	340	331	323	315	304	292	281	270	258	247	236	225	213	202
	10	377	369	361	353	345	337	328	320	312	304	296	285	274	263	252	241	230	219	208	197	186
2	2	510	503	496	488	481	473	466	458	451	443	436	422	409	395	382	368	354	341	327	314	300
	3	491	484	477	469	462	454	447	439	432	424	417	404	391	377	364	351	338	325	311	298	285
	4	471	464	457	450	442	435	427	419	411	404	397	384	372	359	346	334	321	308	295	283	270
	5	451	444	437	429	422	414	407	400	393	386	379	366	354	342	329	316	304	292	279	266	254
	6	433	426	419	412	404	397	389	382	374	366	359	347	335	323	311	299	287	275	263	251	239
	7	414	406	399	391	384	376	369	361	354	346	339	328	316	304	293	282	270	258	247	236	224
	8	395	388	381	373	366	358	351	343	336	328	321	310	299	287	276	264	253	242	231	219	208
	9	376	368	361	353	346	338	331	323	316	308	301	290	279	267	258	247	236	225	215	204	193
	10	357	349	342	334	327	319	312	304	297	289	282	272	261	251	240	230	220	209	199	188	178
3	3	470	463	456	450	443	436	429	422	416	409	402	390	377	365	353	340	328	316	304	291	279
	4	451	444	437	430	423	416	410	403	396	389	382	370	358	346	334	322	311	299	287	275	263

	5	431	424	417	411	404	398	391	385	378	372	365	353	342	330	318	306	295	283	271	260	248
	6	412	405	398	391	385	378	372	365	359	352	345	334	322	311	300	288	277	266	255	243	232
	7	393	386	379	372	365	358	352	345	338	331	324	313	303	292	281	270	260	249	238	228	217
	8	375	368	361	354	348	341	334	327	320	313	306	296	285	274	264	254	243	232	222	212	201
	9	355	348	341	334	327	320	314	307	300	293	286	276	266	256	246	236	225	215	205	195	185
	10	336	329	322	315	308	301	294	288	281	274	267	257	248	238	228	218	209	199	189	180	170
4	4	431	425	419	413	406	400	393	387	380	374	368	357	346	334	323	312	301	290	278	267	256
	5	411	405	399	393	386	380	374	360	362	356	350	339	328	317	306	295	284	273	262	251	240
	6	392	386	380	374	367	361	354	348	342	336	330	319	309	298	288	277	266	256	245	235	224
	7	373	367	361	354	348	341	335	328	322	316	310	300	290	280	270	260	249	239	229	219	209
	8	354	348	342	336	329	323	316	310	303	297	291	281	271	262	252	242	232	222	213	203	193
	9	335	329	323	317	311	304	298	291	285	278	272	263	253	244	234	224	215	206	196	186	177
	10	316	310	304	297	291	284	278	271	265	258	252	243	234	225	216	206	197	188	179	170	161
5	5	391	385	380	374	369	363	358	352	347	341	336	326	315	305	294	284	274	263	253	242	232
	6	372	366	360	354	349	343	338	332	327	322	316	306	296	286	276	266	256	246	236	226	216
	7	354	348	342	336	330	325	319	314	308	302	296	287	278	268	259	250	241	232	222	213	204
	8	334	327	321	316	310	304	299	293	288	282	276	267	258	249	240	230	221	212	203	194	185
	9	315	310	303	297	291	286	280	274	269	263	257	248	239	231	222	213	204	195	187	178	169
	10	296	290	284	279	273	267	261	255	249	244	238	230	221	212	204	196	187	178	170	162	153
6	6	352	337	342	337	332	327	322	317	311	306	301	292	282	273	264	264	245	236	227	217	208
	7	333	328	323	317	312	307	302	297	292	286	281	272	263	255	246	237	228	219	211	202	193
	8	314	309	304	299	293	288	282	277	271	266	261	252	244	236	227	218	210	202	193	184	176
	9	294	289	284	278	273	268	263	257	252	247	242	234	225	217	209	200	192	184	176	167	159
	10	276	271	265	260	254	249	244	238	233	227	222	214	206	198	190	182	175	167	160	151	143
7	7	313	309	304	299	295	290	286	281	277	272	268	260	251	242	234	226	217	208	200	192	183
	8	293	288	283	279	275	270	265	261	256	252	247	239	231	223	215	207	199	191	183	175	167
	9	275	270	265	261	256	251	246	242	238	233	228	220	212	205	197	189	181	173	166	158	150
	10	255	250	246	241	237	232	227	222	217	213	208	201	193	186	178	171	164	156	149	141	134
8	8	273	269	265	261	257	252	248	244	240	236	232	225	217	210	203	196	188	181	174	166	159
	9	254	250	246	242	238	234	229	225	221	217	213	206	199	192	185	178	170	163	156	149	142
	10	235	231	227	222	218	214	210	206	201	197	193	186	180	173	166	160	153	146	139	133	126
9	9	233	229	226	222	219	215	212	208	205	201	198	192	185	178	172	166	159	152	146	140	133
	10	214	210	207	204	200	196	193	189	186	182	178	172	166	160	154	148	141	135	129	123	117
10	10	193	190	187	184	181	178	175	172	169	166	163	158	152	146	141	136	130	124	119	114	108

$N_н$	$N_о$	Северная широта, град.																		
		30	35	40	45	50	55	60	65	70	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
		Май									Июнь					Июль				
0	0	635	630	625	620	615	599	583	566	550	646	656	667	666	665	626	625	625	618	611
	1	615	609	603	597	591	575	559	543	527	627	636	645	642	638	608	606	604	595	586
	2	595	589	583	577	571	554	537	521	504	609	616	622	616	610	589	586	582	572	561
	3	577	570	563	556	549	532	515	498	481	590	594	599	590	582	572	566	560	548	536
	4	558	550	542	535	527	510	493	475	458	571	574	576	566	555	554	546	539	525	511
	5	539	531	523	514	506	488	470	452	435	553	554	555	541	528	537	527	517	502	486
	6	521	512	503	493	484	466	448	430	412	535	533	531	515	500	519	506	494	478	461
	7	504	494	484	473	463	444	426	408	389	515	512	508	490	472	500	486	472	454	436
	8	485	474	463	451	440	422	403	384	366	498	492	486	466	445	482	466	450	430	411
	9	465	453	441	429	417	398	380	362	343	480	472	463	440	418	464	446	429	408	386
	10	448	435	422	408	395	376	357	339	320	461	450	439	414	390	447	426	406	384	361
1	1	592	587	582	578	573	558	543	528	513	602	612	623	621	620	585	585	584	578	571
	2	573	568	563	558	553	437	521	505	490	584	592	600	596	592	565	564	562	554	546
	3	554	548	542	536	530	514	498	482	467	565	570	575	570	565	549	544	540	530	521
	4	535	528	521	514	508	492	476	460	444	545	550	554	546	538	530	524	518	506	495
	5	516	508	501	494	486	470	454	437	421	528	530	531	520	510	514	506	497	484	470
	6	498	490	481	472	464	448	431	414	398	510	510	509	486	482	495	484	474	460	445
	7	479	470	461	452	443	426	409	392	373	490	487	485	470	455	476	464	452	436	420
	8	460	450	440	430	420	403	386	369	352	472	468	464	446	427	458	444	430	412	395
	9	443	432	421	409	398	381	364	346	329	455	448	440	420	399	441	424	408	388	369
	10	423	411	399	387	375	358	341	323	306	436	427	418	395	372	424	405	386	365	344
2	2	550	546	541	536	532	518	504	490	476	560	586	577	576	576	544	542	541	536	530
	3	530	525	520	516	511	496	482	468	453	540	546	553	550	548	525	522	520	512	505
	4	510	504	499	494	488	474	459	444	430	521	526	531	526	520	507	502	498	489	480
	5	492	486	480	473	467	452	437	421	406	504	501	498	495	492	490	482	475	464	454
	6	473	466	459	452	445	430	414	399	383	485	486	487	476	464	471	462	453	441	429
	7	456	448	440	432	424	408	392	376	360	465	463	462	449	436	453	442	431	418	404
	8	438	429	420	410	401	385	369	353	337	448	444	440	424	408	435	422	409	394	378

	9	418	408	398	388	378	352	346	330	314	430	424	418	399	380	416	402	387	370	353
	10	399	388	377	366	355	339	323	306	290	411	402	394	373	352	400	382	365	346	328
3	3	507	503	499	495	491	478	465	452	440	515	523	531	532	532	502	501	500	495	490
	4	488	483	478	474	469	456	443	429	416	498	504	509	506	504	485	481	477	471	465
	5	468	463	458	452	447	434	420	406	393	478	482	485	480	475	467	461	455	447	439
	6	451	444	438	432	425	411	397	383	369	460	462	465	456	447	448	440	433	423	414
	7	432	425	418	410	403	388	374	360	345	441	440	440	430	419	430	420	411	400	388
	8	413	405	397	389	381	366	351	337	322	423	420	418	404	390	411	400	389	376	363
	9	394	385	376	368	359	344	329	313	298	404	400	396	379	362	394	380	367	352	338
	10	374	364	355	346	336	320	305	290	274	386	379	372	353	334	377	361	345	334	312
4	4	464	460	457	454	450	438	426	415	403	473	480	486	487	488	460	458	457	453	449
	5	445	441	437	433	429	416	404	392	379	454	458	463	461	459	443	439	435	430	424
	6	426	421	416	411	406	393	380	368	355	435	438	441	436	431	424	418	412	405	398
	7	408	402	396	391	385	372	359	345	332	416	417	418	410	402	405	398	390	381	372
	8	390	383	376	369	362	348	335	322	308	399	398	396	384	373	387	378	369	358	347
	9	370	362	354	346	338	324	311	298	284	380	376	373	358	344	370	358	347	334	322
	10	351	342	333	325	316	302	288	274	260	262	356	350	333	316	352	338	324	310	296
5	5	421	418	415	412	409	398	387	377	366	430	436	441	442	442	419	417	415	412	408
	6	404	400	396	391	387	376	365	353	342	411	414	418	415	413	401	396	392	387	382
	7	385	380	375	371	366	354	342	330	318	392	394	395	390	384	383	376	370	363	356
	8	366	360	354	348	342	330	318	306	294	374	374	374	365	356	365	357	349	340	331
	9	346	339	332	326	319	307	295	282	270	353	352	352	340	327	346	336	326	316	305
	10	327	319	311	304	296	284	271	258	246	335	332	328	313	298	328	316	304	292	280
6	6	380	377	374	371	368	358	348	337	327	387	392	396	397	398	378	375	372	369	366
	7	361	357	353	349	345	334	324	313	303	367	370	373	370	368	359	354	350	345	340
	8	342	337	332	327	322	311	300	290	279	349	342	335	345	339	342	335	328	322	315
	9	323	317	311	305	299	288	277	265	254	330	329	328	320	310	323	314	306	298	290
	10	303	296	290	284	277	265	253	242	230	310	308	305	292	280	305	294	283	274	264
7	7	338	335	332	329	326	317	308	299	290	343	346	350	351	352	336	332	329	326	324
	8	318	314	310	307	303	294	284	274	265	324	326	229	326	322	318	312	307	303	299
	9	299	294	289	285	280	270	260	251	241	304	302	305	298	292	300	292	285	279	273
	10	279	273	268	262	256	246	236	226	216	286	282	282	272	262	281	272	263	256	248

$N_н$	$N_о$	Северная широта, град.																			
		30	35	40	45	50	55	60	65	70	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
8	8	294	291	288	285	282	274	266	259	251	300	303	306	306	305	295	291	287	284	281
	9	276	272	268	264	260	252	243	234	226	280	282	283	278	274	277	271	265	260	256
	10	256	252	247	242	238	229	220	211	202	261	160	260	252	244	258	250	242	237	232
9	9	251	248	246	244	241	234	227	219	212	255	258	260	260	259	253	248	244	242	239
	10	233	229	225	222	218	210	202	194	186	237	238	238	232	226	235	228	222	219	216
	10	208	206	203	200	198	192	185	178	172	212	213	214	214	213	212	206	201	198	196

$N_н$	$N_о$	Северная широта, град.																			
		30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70

Август

0	0	577	574	570	567	563	560	557	553	550	546	543	532	520	509	498	486	475	464	453	441	430
	1	557	554	550	547	543	540	537	533	530	526	523	512	501	489	478	467	456	445	433	422	411
	2	540	536	533	529	526	522	518	515	511	508	504	493	482	471	460	448	437	426	415	404	393
	3	525	521	516	512	508	504	499	495	491	486	482	472	460	450	439	428	417	406	396	385	374
	4	505	501	497	492	488	484	480	476	471	467	463	452	442	431	420	410	399	388	377	367	356
	5	490	485	480	475	470	466	461	456	451	446	441	431	420	410	399	389	379	368	358	347	337
	6	474	469	463	458	453	448	442	437	432	426	421	411	400	390	380	370	359	349	339	328	318
	7	458	452	446	441	435	429	423	417	412	406	400	390	380	370	360	350	340	330	320	310	300
	8	442	436	430	423	417	411	405	399	392	386	380	370	360	350	340	330	320	310	300	290	281
	9	427	420	413	407	400	393	386	379	373	366	359	349	340	330	321	311	301	292	282	273	263
	10	412	405	397	390	382	375	368	360	353	345	338	329	319	310	300	291	282	272	263	253	244
1	1	537	534	531	528	525	522	520	517	514	511	508	497	487	476	466	455	444	434	423	413	402
	2	520	517	513	510	507	504	500	497	494	490	487	477	466	456	445	435	425	414	404	393	383
	3	503	499	495	492	488	484	481	477	473	469	465	455	445	435	425	414	404	394	384	374	364

	4	485	481	478	473	469	466	462	458	455	451	447	437	427	417	407	396	386	376	366	356	346
	5	469	465	461	456	452	447	443	439	434	429	425	415	405	396	386	376	366	356	346	337	327
	6	452	448	443	438	433	429	424	419	415	410	405	395	386	376	366	356	347	337	327	318	308
	7	436	431	426	420	415	410	405	399	394	389	384	375	365	356	346	337	328	318	309	299	290
	8	422	416	410	404	398	393	388	382	376	370	364	335	345	336	327	318	308	299	290	280	271
	9	405	399	393	386	380	373	367	361	354	348	342	333	324	315	306	297	288	279	270	261	252
	10	390	383	376	369	363	356	349	342	335	328	321	312	303	295	286	277	268	259	251	242	233
2	2	499	496	493	490	487	484	481	479	476	473	470	461	451	442	432	422	412	402	392	382	372
	3	481	478	475	472	469	466	463	460	457	453	450	440	431	421	411	402	392	382	372	363	353
	4	465	461	458	454	451	447	444	440	437	433	430	420	411	401	392	382	372	363	353	343	334
	5	448	445	441	437	433	429	425	421	417	413	409	400	390	381	372	363	353	344	335	325	316
	6	432	428	424	419	415	410	406	401	397	392	388	379	370	361	352	342	333	324	315	306	297
	7	415	410	405	400	396	391	387	382	378	373	368	359	350	341	332	323	314	305	296	287	278
	8	401	396	319	385	380	374	369	363	358	352	347	338	330	321	312	304	295	286	277	269	260
	9	384	378	372	367	361	355	350	344	338	332	326	318	309	300	292	284	275	266	258	250	241
	10	370	363	357	350	344	337	331	324	318	311	305	297	289	280	272	264	256	248	239	231	222
3	3	461	458	455	453	450	448	445	443	440	437	434	425	416	407	398	388	379	370	361	352	343
	4	444	441	438	435	432	429	426	423	420	417	414	405	396	387	378	369	360	351	342	333	324
	5	427	424	421	417	414	410	407	403	400	396	393	384	376	367	358	350	341	332	323	315	306
	6	411	407	403	399	395	391	387	383	380	376	372	364	355	346	338	330	321	312	304	296	287
	7	394	390	386	381	377	372	368	363	359	355	351	343	334	326	318	310	301	292	285	276	268
	8	380	375	370	365	360	355	351	346	341	336	331	323	315	307	299	290	282	274	266	258	250
	9	364	358	353	348	342	337	331	326	320	315	309	301	293	286	278	270	262	254	247	238	231
	10	349	343	337	330	324	318	312	306	300	294	288	280	273	265	258	250	242	235	227	220	212
4	4	423	421	418	415	413	410	408	405	403	400	398	390	381	373	364	356	348	339	331	322	314
	5	405	402	399	396	393	390	388	385	382	379	376	368	360	352	344	336	327	319	311	303	295
	6	390	387	384	380	377	373	370	366	363	359	356	348	340	332	324	316	308	300	292	284	276
	7	374	370	366	362	358	354	350	346	343	339	335	327	319	312	304	296	288	280	273	265	257
	8	358	354	350	345	341	336	332	327	323	318	314	306	299	291	284	276	268	260	253	245	238
	9	342	337	332	327	323	318	313	308	303	298	293	286	278	271	263	256	249	241	234	226	219
	10	326	321	316	310	305	299	294	288	283	277	272	265	258	250	243	236	229	222	214	207	200
5	5	384	382	379	377	374	372	369	367	364	362	360	352	345	337	330	322	314	307	299	292	284
	6	369	366	363	360	357	354	351	349	346	343	340	332	325	318	310	302	295	288	280	272	265

$N_н$	$\Lambda_о$	Северная широта, град.																				
		30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
	7	354	351	347	343	340	336	333	329	326	322	319	312	304	297	290	282	275	268	261	253	246
	8	338	334	330	326	322	318	314	310	306	302	298	291	284	276	269	262	255	248	240	233	226
	9	322	317	312	308	303	299	295	290	286	281	277	270	263	256	249	242	235	228	221	214	207
	10	306	301	296	291	286	281	276	271	266	261	256	249	242	236	229	222	215	208	202	195	188
6	6	348	346	344	341	339	336	333	331	328	326	324	317	310	303	296	290	282	276	269	262	255
	7	333	330	327	324	321	318	315	312	309	306	303	296	290	283	276	270	263	256	249	243	236
	8	317	314	310	307	303	300	296	293	289	286	282	275	269	262	256	249	242	236	229	223	216
	9	300	296	292	288	284	281	277	273	269	265	261	254	248	242	235	228	222	216	209	202	196
	10	284	280	276	271	267	262	258	253	249	244	240	237	227	221	215	208	202	196	190	183	177
7	7	312	310	307	305	302	300	297	295	292	290	287	281	274	268	262	256	249	242	237	230	224
	8	295	292	289	286	283	281	278	275	272	269	266	260	254	248	242	236	229	223	217	211	205
	9	279	276	273	269	266	262	259	255	252	248	245	239	233	227	221	216	210	204	198	192	186
	10	262	258	254	250	247	243	240	236	232	228	224	218	213	207	201	196	190	184	178	173	167
8	8	274	272	269	267	264	262	259	257	254	252	249	243	238	232	227	221	215	210	204	199	193
	9	258	255	252	249	246	243	240	237	234	231	228	224	219	215	210	206	202	197	193	188	184
	10	240	237	234	231	227	224	221	217	214	211	208	203	198	192	187	182	177	172	166	161	156
9	9	235	233	231	229	227	224	222	219	217	215	213	208	203	198	193	188	183	178	173	168	163
	10	217	214	211	209	206	204	201	199	196	194	191	186	182	177	172	168	163	158	153	149	144
10	10	196	194	192	190	188	185	183	181	179	177	175	171	166	162	158	154	149	145	141	136	132
		Сентябрь																				
0	0	509	498	488	477	467	456	446	435	425	414	404	386	367	349	330	312	294	275	257	238	220
	1	498	487	476	465	454	443	432	421	410	399	388	370	352	335	317	299	280	262	245	227	210
	2	485	474	463	451	440	428	417	406	394	383	372	355	338	320	303	286	269	252	234	217	200
	3	470	459	447	435	424	412	401	389	378	366	355	338	322	306	289	272	256	240	223	206	190

	4	455	443	431	420	402	397	385	374	362	351	339	323	307	291	275	260	244	228	212	196	180
	5	439	427	415	403	392	380	369	357	346	334	322	307	292	276	261	246	231	216	200	185	170
	6	423	411	399	388	376	365	353	342	330	318	306	292	277	262	248	234	219	204	190	176	161
	7	405	393	382	370	359	347	335	323	311	300	288	274	261	247	233	220	206	192	178	165	151
	8	388	376	364	353	341	329	318	307	295	284	272	259	246	233	220	206	193	180	167	154	141
	9	370	358	346	335	323	312	301	289	278	266	255	243	230	218	205	193	181	168	156	143	131
	10	352	341	329	318	306	295	283	272	260	249	238	226	215	203	191	180	168	156	144	133	121
1	1	480	470	460	450	439	429	418	408	397	387	377	360	343	326	309	292	274	257	240	223	206
	2	467	457	446	435	424	414	403	393	382	372	361	344	328	312	295	278	262	246	229	212	196
	3	452	441	430	419	409	398	388	377	366	355	344	328	312	297	281	265	249	233	218	202	186
	4	437	426	415	404	393	382	371	361	350	339	328	313	298	282	267	252	237	222	206	191	176
	5	422	411	400	389	378	367	356	345	334	323	312	297	283	268	254	239	224	210	195	181	166
	6	405	394	383	372	360	349	338	327	316	305	294	280	266	252	238	224	211	197	183	169	155
	7	387	376	365	354	343	332	321	310	299	288	277	264	251	237	224	211	198	185	171	158	145
	8	370	359	348	337	327	316	306	295	284	273	262	249	237	224	211	198	186	173	160	148	135
	9	352	341	330	319	308	298	287	277	266	255	244	232	220	208	196	184	173	161	149	137	125
	10	335	324	313	303	293	282	272	261	250	239	228	217	205	194	183	172	160	149	138	126	115
2	2	450	440	430	420	410	400	390	380	370	360	350	334	318	303	287	271	255	239	224	208	192
	3	436	426	416	405	395	384	374	363	353	343	333	318	303	288	273	258	242	227	212	197	182
	4	420	410	400	390	379	369	358	348	337	327	317	302	288	273	259	244	229	215	200	186	171
	5	404	394	384	373	363	352	342	331	321	310	300	286	272	258	244	230	217	203	189	175	161
	6	387	377	367	357	346	336	325	315	304	294	284	271	257	244	231	218	204	191	178	164	151
	7	369	359	349	338	328	317	307	297	287	277	267	254	242	229	216	204	191	178	165	153	140
	8	355	344	334	323	313	302	292	281	271	260	250	238	226	214	202	190	178	166	154	142	130
	9	335	325	315	305	294	284	273	263	253	243	233	222	210	199	188	176	165	154	143	131	120
	10	316	306	296	286	276	267	257	247	237	227	217	206	195	185	174	163	152	141	131	120	109
3	3	419	409	399	390	380	371	361	352	242	332	322	308	293	278	164	250	235	220	206	192	177
	4	402	392	383	373	364	354	345	335	326	316	306	292	278	264	250	236	222	208	194	180	166
	5	386	376	366	357	347	338	328	319	309	299	289	276	262	249	236	222	209	196	183	178	156
	6	369	359	350	340	331	321	312	302	293	283	273	260	248	235	222	210	197	184	171	159	146
	7	352	342	332	323	313	304	294	285	275	266	256	244	232	220	208	196	183	171	159	147	135
	8	334	325	315	306	296	287	277	268	258	249	239	228	216	204	193	182	170	158	147	136	124
	9	317	308	298	289	279	270	260	251	241	232	222	211	200	190	179	168	157	146	136	125	114
	10	298	289	280	270	261	251	242	233	224	215	206	196	185	175	165	154	144	134	124	113	103

$N_н$	$N_о$	Северная широта, град.																				
		30	32	34	36	38	40	42	41	43	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
4	4	385	376	367	358	349	340	331	322	313	304	295	282	268	255	242	228	215	202	187	175	162
	5	369	360	351	342	333	324	315	305	296	287	278	265	253	240	227	214	202	189	176	164	151
	6	352	343	334	325	316	307	298	289	280	271	262	250	238	226	214	202	189	177	165	153	141
	7	334	325	316	307	298	289	280	272	263	254	245	234	222	210	199	188	176	164	153	142	130
	8	317	308	299	290	282	273	264	255	247	238	229	218	207	196	185	174	163	152	141	130	119
	9	299	291	282	274	265	257	248	239	230	221	212	202	191	181	170	160	150	139	129	118	108
	10	281	272	263	255	246	238	229	221	212	204	195	185	176	166	156	146	137	127	117	108	98
5	5	351	343	334	326	317	309	300	292	283	275	267	255	243	231	219	206	194	182	170	158	146
	6	334	326	317	308	300	291	283	274	266	258	250	238	227	216	204	192	181	170	158	146	135
	7	317	309	301	293	284	276	267	259	250	242	234	223	212	201	190	180	169	158	147	136	125
	8	300	292	284	275	267	258	250	241	233	225	217	207	196	186	176	166	155	145	135	124	114
	9	282	274	266	258	250	242	233	225	217	209	201	191	182	172	162	152	143	133	124	114	104
	10	263	255	347	239	231	223	215	207	199	191	183	174	165	156	147	138	129	120	111	102	93
6	6	317	309	301	294	286	279	271	264	256	248	240	229	218	207	196	186	175	164	153	142	131
	7	299	292	284	277	269	262	254	247	239	232	224	214	203	193	182	172	162	151	141	130	120
	8	282	274	266	259	251	244	236	229	221	214	206	196	187	177	167	158	148	138	128	119	109
	9	264	257	250	243	235	227	219	212	204	197	190	181	172	162	153	144	135	126	116	107	98
	10	246	239	232	224	217	209	202	194	187	179	172	164	155	146	138	130	121	112	104	96	87
7	7	282	275	268	261	254	247	240	233	226	219	212	202	193	183	173	164	154	144	134	125	115
	8	264	257	250	243	236	230	223	216	209	202	195	186	177	168	159	150	140	131	122	113	104
	9	246	239	232	225	219	212	206	199	192	185	178	170	161	152	144	136	127	108	110	102	93
	10	228	221	214	208	201	195	188	181	175	168	161	153	145	137	129	122	114	106	98	90	82
8	8	246	240	234	228	222	215	209	202	196	190	184	175	167	158	150	141	132	124	115	107	98
	9	226	220	214	208	202	196	191	185	179	173	167	159	151	143	135	127	119	111	103	95	87
	10	209	203	197	191	186	180	174	168	162	156	150	143	135	128	120	113	106	98	91	83	76
9	9	210	205	200	194	189	183	178	172	167	161	156	149	141	134	126	119	112	104	97	89	82
	10	192	187	181	175	169	164	159	154	149	144	139	132	125	119	112	105	98	91	85	78	71

10	10	174	169	164	159	155	151	146	142	137	133	128	122	115	109	102	96	90	83	77	70	64

Октябрь

0	0	432	415	398	379	362	344	327	309	292	274	256	237	218	199	180	160	141	122	103	84	65
	1	417	400	383	366	348	331	314	294	279	262	245	227	208	190	172	154	135	117	99	80	62
	2	401	384	367	351	334	318	301	285	268	251	234	217	199	182	164	147	130	112	95	77	60
	3	385	369	353	337	320	304	288	272	255	239	223	206	190	173	157	140	123	107	90	74	57
	4	368	362	336	321	305	290	274	259	243	228	212	196	181	165	149	133	118	102	86	71	55
	5	351	336	321	306	291	276	261	246	231	216	201	186	171	156	141	126	112	97	82	67	52
	6	335	320	306	291	277	262	248	233	219	204	190	176	162	148	134	120	105	91	77	63	49
	7	319	305	291	277	263	249	235	221	207	193	179	166	153	139	126	113	100	87	73	60	47
	8	303	289	275	262	248	235	221	208	194	181	167	155	142	130	118	106	93	81	69	56	44
	9	286	273	260	247	234	221	207	194	181	168	155	144	132	121	110	98	87	76	65	53	42
	10	269	246	244	231	219	206	194	181	169	156	144	134	123	112	102	92	81	70	60	50	39
1	1	405	388	371	355	338	322	305	288	272	255	238	220	203	185	168	150	132	115	97	80	62
	2	388	372	356	340	324	308	292	276	260	244	228	211	194	177	160	144	127	110	93	76	59
	3	372	356	340	325	309	294	279	263	248	232	216	200	184	168	152	136	120	104	88	72	56
	4	355	340	325	311	296	281	266	251	236	221	206	191	176	160	145	130	115	100	84	69	54
	5	338	322	308	294	280	265	251	237	223	208	194	180	165	151	137	122	108	94	80	65	51
	6	322	308	294	280	266	253	239	225	211	197	183	170	156	142	129	116	102	88	75	62	48
	7	307	293	280	266	253	239	226	212	199	185	172	159	147	134	121	108	96	83	70	58	45
	8	290	277	263	251	238	226	213	200	187	174	161	149	137	125	113	102	90	78	66	54	42
	9	273	261	248	236	223	211	198	186	172	161	149	138	127	116	105	94	83	73	62	51	40
	10	256	244	232	220	208	197	185	173	161	149	137	127	117	107	97	87	77	67	57	47	37
2	2	375	360	345	329	314	298	283	267	252	237	222	206	189	173	156	140	124	107	91	74	58
	3	359	344	329	314	299	284	270	255	240	225	210	194	179	164	148	132	117	102	86	70	55
	4	342	328	314	300	285	271	256	242	227	213	199	184	170	155	140	126	111	96	81	67	52
	5	326	312	298	284	271	257	243	230	216	203	189	175	161	147	133	119	105	91	77	63	49
	6	309	296	283	269	256	243	229	216	203	190	177	164	151	138	125	112	98	85	72	59	46
	7	294	281	268	255	243	230	217	204	192	179	166	154	142	129	117	105	93	81	68	56	44
	8	277	265	253	240	228	215	203	190	178	166	154	143	131	120	109	98	86	75	64	52	41

$N_н$	N_0	Северная широта, град.																				
		30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
	9	260	248	236	224	212	200	189	178	166	154	142	132	121	111	100	90	80	69	59	48	38
	10	242	231	220	209	198	186	175	164	153	142	131	121	112	102	93	83	73	64	54	45	35
3	3	346	332	318	304	290	276	262	247	232	218	204	189	174	159	144	129	114	99	84	69	54
	4	328	314	301	287	274	260	247	233	220	208	193	179	165	150	136	122	108	94	79	65	51
	5	313	300	287	274	261	248	234	221	208	195	182	169	155	142	128	115	102	88	75	61	48
	6	296	283	270	258	245	233	221	208	196	183	170	158	145	132	120	108	95	82	70	58	45
	7	280	268	256	244	232	220	208	196	184	172	160	148	136	125	113	101	89	77	66	54	42
	8	264	252	240	229	217	205	194	182	171	159	147	136	125	115	104	93	82	71	60	50	39
	9	246	235	224	213	202	190	179	168	157	146	135	125	115	105	95	86	76	66	56	46	36
	10	230	219	208	198	187	177	166	156	145	135	124	115	106	97	88	78	69	60	51	42	33
4	4	316	303	290	277	265	252	239	226	213	200	187	173	160	146	132	118	105	91	77	64	50
	5	300	288	276	263	251	238	226	213	201	188	176	163	150	137	124	112	99	86	73	60	47
	6	283	271	259	247	236	224	213	201	189	177	165	153	141	129	117	104	92	80	68	56	44
	7	267	256	245	233	222	210	199	187	176	164	153	142	131	119	108	97	86	75	63	52	41
	8	250	239	228	218	207	196	186	175	164	153	142	132	121	111	100	90	80	69	59	48	38
	9	234	224	213	203	192	182	172	161	151	140	130	120	111	101	92	82	72	63	53	44	34
	10	217	207	197	187	177	167	157	147	137	127	117	108	100	91	83	74	65	57	48	40	31
5	5	287	275	263	251	240	228	217	205	194	182	170	158	145	132	120	108	95	82	70	58	45
	6	270	259	248	237	225	214	203	191	180	169	158	156	135	123	112	100	88	77	65	54	42
	7	254	243	232	221	211	200	190	179	169	158	147	136	125	115	104	93	82	71	61	50	39
	8	238	228	218	208	198	187	177	166	156	145	135	125	115	105	95	85	75	65	55	45	35
	9	221	211	201	191	182	172	163	153	143	133	123	114	105	96	87	78	68	59	50	41	32
	10	204	195	186	176	167	157	148	138	129	120	111	103	95	86	78	70	62	54	45	37	29
6	6	256	246	235	225	214	204	193	183	173	162	152	141	130	118	107	96	85	74	62	51	40
	7	242	232	222	212	202	191	181	170	160	150	140	130	119	109	99	88	78	68	58	47	37
	8	225	215	205	195	186	177	168	158	149	139	129	120	110	100	91	82	72	62	53	44	34

	9	208	199	190	181	172	162	153	143	134	125	116	107	99	90	82	73	64	56	47	39	30
	10	192	183	174	166	157	148	139	130	122	113	104	96	89	81	73	66	58	50	42	35	27
7	7	228	219	210	200	191	181	172	162	152	143	134	124	114	105	95	85	75	65	56	46	36
	8	212	203	194	185	176	167	158	149	140	131	122	113	104	95	86	77	68	59	50	41	32
	9	195	186	178	169	161	152	144	135	127	118	110	102	94	86	78	70	61	53	45	37	29
	10	179	171	163	155	147	138	130	122	114	106	98	91	83	76	69	62	54	47	40	32	25
8	8	198	190	182	174	165	157	148	140	131	123	115	107	98	90	81	73	65	56	48	39	31
	9	182	174	166	158	150	143	135	128	120	112	104	96	88	81	73	65	57	49	42	34	26
	10	166	158	151	143	136	128	121	113	106	98	91	84	77	71	64	57	51	43	37	30	23
9	9	170	162	155	148	141	133	126	118	111	104	97	90	83	75	68	61	54	47	39	32	25
	10	152	145	138	131	125	118	112	105	99	92	85	79	73	66	60	54	48	42	35	29	23
10	10	139	133	127	121	115	109	103	97	91	85	79	73	67	61	55	49	43	37	31	25	19

Ноябрь

0	0	338	318	298	278	258	238	218	198	177	157	137	124	111	98	85	72	58	45	32	19	6
	1	324	305	286	267	247	228	209	189	170	151	132	119	107	94	82	69	56	44	31	19	6
	2	309	291	273	255	236	218	200	182	164	146	128	116	104	91	79	67	55	43	30	18	6
	3	296	278	261	243	226	209	192	174	157	139	122	110	99	87	75	64	52	40	28	17	5
	4	282	265	248	232	215	199	182	166	149	131	116	105	94	83	72	60	49	38	27	16	5
	5	268	252	236	220	205	189	174	158	142	126	110	100	89	78	68	58	47	36	26	16	5
	6	255	240	225	210	195	179	164	149	134	119	104	94	84	74	64	54	45	35	25	15	5
	7	241	227	213	199	184	170	155	141	126	112	98	89	79	70	61	52	42	33	24	14	5
	8	228	214	200	187	173	160	146	133	119	105	91	82	74	65	56	48	39	30	21	13	4
	9	212	199	184	173	161	148	136	123	110	97	84	76	88	60	52	44	36	28	20	12	4
	10	200	188	176	163	150	138	125	113	101	89	77	70	62	55	48	40	33	26	19	11	4
1	1	315	296	277	259	240	222	203	185	166	148	129	117	104	92	80	68	55	43	31	18	6
	2	300	282	265	247	230	212	195	177	160	142	124	112	100	89	77	65	53	41	30	18	6
	3	287	270	253	237	220	204	187	170	153	136	119	108	96	85	74	62	51	40	29	17	6
	4	273	257	241	225	209	193	177	161	145	129	113	102	91	81	70	59	48	37	27	16	5
	5	259	244	229	214	198	182	167	152	137	122	107	97	87	76	66	56	46	36	25	15	5

N_o	$N_н$	Северная широта, град.																			
		30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
	6	246	231	216	202	187	173	158	144	129	115	100	90	81	72	62	52	43	34	24	14	5
	7	232	218	204	190	177	163	150	136	122	108	94	85	76	67	58	50	41	32	23	14	5
	8	218	205	192	179	166	153	140	127	114	101	88	80	71	63	55	46	38	30	22	13	5
	9	204	192	180	167	155	142	130	117	105	92	80	72	65	57	50	42	34	27	19	12	4
	10	190	178	166	154	143	131	120	108	97	85	73	66	59	52	45	38	32	25	18	11	4
2	2	291	274	257	240	223	206	189	172	155	138	121	110	98	86	75	63	52	40	29	18	6
	3	278	262	246	230	213	197	181	164	148	132	116	105	94	83	72	61	50	39	28	17	6
	4	264	249	234	218	203	187	171	156	140	125	110	100	89	79	68	58	48	37	27	16	6
	5	250	235	220	206	191	177	162	148	133	119	104	94	84	74	64	54	45	35	25	15	5
	6	237	223	209	195	182	168	154	140	127	113	99	90	80	71	61	52	43	33	24	14	5
	7	223	210	197	184	170	157	144	131	117	104	91	82	74	65	57	48	39	31	22	14	5
	8	209	197	184	171	159	146	134	121	109	96	84	76	68	60	52	44	37	29	21	13	5
	9	195	183	171	159	147	135	123	112	100	88	76	69	62	54	47	40	33	26	18	11	4
	10	181	170	159	148	136	124	113	102	91	80	69	62	56	50	43	36	30	24	17	10	4
3	3	269	253	238	222	207	191	176	160	145	129	113	102	91	81	70	59	48	37	27	16	5
	4	255	240	225	210	195	181	166	152	137	122	107	97	87	76	66	56	46	36	25	15	5
	5	242	228	214	200	186	172	157	143	129	115	101	91	82	72	62	52	43	33	23	15	4
	6	227	214	201	187	174	160	147	134	120	107	94	85	76	67	58	49	40	31	22	13	4
	7	214	201	188	176	163	151	138	126	113	100	87	79	70	62	54	46	37	29	21	12	4
	8	200	188	176	164	152	140	128	116	104	92	80	72	65	57	50	42	34	27	19	12	4
	9	186	175	164	152	141	129	118	106	95	84	73	66	59	52	45	38	31	24	17	10	3
	10	172	161	151	140	130	119	109	98	88	77	66	60	53	47	41	34	28	22	16	9	3
4	4	246	232	218	203	189	174	160	145	131	117	103	93	83	74	64	54	44	34	25	15	5
	5	232	218	205	191	178	164	151	137	124	110	97	88	79	69	60	51	42	33	23	14	5
	6	218	205	192	180	167	155	142	130	117	104	91	82	74	65	56	48	39	30	21	13	4
	7	205	193	181	169	157	145	132	120	108	96	84	76	68	60	52	44	36	28	20	12	4
	8	191	180	169	157	146	131	123	111	99	88	77	70	62	55	48	40	33	26	19	11	4
	9	117	166	155	144	134	123	112	102	91	81	70	63	57	50	43	36	30	23	16	10	3
	10	163	153	143	133	123	112	102	92	82	72	62	56	50	44	38	32	27	21	15	9	3

5	5	224	211	198	185	172	159	146	133	120	107	94	85	76	67	58	49	40	31	22	13	4
	6	209	197	185	173	161	149	137	125	112	100	88	80	71	63	54	46	38	29	21	12	4
	7	196	185	173	162	150	139	127	116	104	93	81	73	66	58	50	42	35	27	19	12	4
	8	182	171	160	149	138	128	117	106	95	84	73	66	59	52	45	38	31	24	17	10	3
	9	167	157	147	137	127	117	106	96	86	76	66	60	53	47	41	34	28	22	16	9	3
	10	154	144	135	125	116	106	97	87	78	68	59	53	48	42	37	31	25	20	14	9	3
6	6	200	188	176	165	153	142	130	119	107	96	84	76	68	60	52	44	36	28	20	12	4
	7	186	175	164	153	142	131	120	110	99	88	77	70	62	55	48	40	33	26	19	11	4
	8	173	164	153	142	132	121	111	100	90	80	70	63	57	50	44	37	30	24	17	11	4
	9	158	148	139	129	120	110	101	91	82	72	63	57	51	45	39	33	27	21	15	9	3
	10	144	135	126	117	108	100	91	83	74	65	56	51	45	40	35	30	24	19	14	8	3
7	7	177	160	150	147	136	126	115	105	94	84	74	67	60	53	46	39	32	25	18	11	4
	8	163	153	143	134	124	115	105	96	86	77	67	61	54	48	41	35	29	22	16	9	3
	9	149	140	131	122	113	104	95	86	77	68	59	53	48	42	37	31	25	20	14	9	3
	10	135	127	119	111	102	94	85	77	68	60	52	47	42	37	32	27	22	17	12	7	2
8	8	154	145	136	127	118	109	100	91	82	73	64	58	52	46	40	34	27	21	15	9	3
	9	139	131	123	114	106	97	89	80	72	64	56	51	45	40	34	29	24	18	13	7	2
	10	125	117	109	101	94	86	78	71	63	56	48	43	39	34	30	25	20	16	11	7	2
9	9	130	122	114	106	98	91	83	75	68	60	52	47	42	37	32	27	22	17	12	7	2
	10	116	109	102	95	88	80	73	66	59	52	45	41	36	32	28	24	19	15	11	6	2
10	10	107	100	94	87	81	74	68	61	55	48	42	38	34	30	26	22	18	14	10	6	2

Декабрь

0	0	290	270	250	231	211	192	172	153	133	113	93	82	72	61	51	40	30	22	17	8	0
	1	278	259	240	221	203	184	166	147	128	109	90	80	69	59	48	38	30	22	15	8	0
	2	266	248	230	212	194	176	158	140	122	104	86	76	66	57	47	37	30	22	15	7	0
	3	254	237	220	203	185	168	151	137	116	99	82	73	63	54	44	35	28	21	14	7	0
	4	242	226	210	193	177	160	143	127	110	94	78	69	60	52	43	34	27	20	14	7	0
	5	230	214	199	183	168	152	136	121	105	90	74	66	57	49	40	32	26	19	13	6	0
	6	218	203	188	173	158	144	129	114	100	85	70	62	54	46	38	30	24	18	12	6	0

$N_н$	$N_о$	Северная широта, град.																				
		30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70
	7	205	191	177	163	149	135	121	107	93	79	65	58	51	43	36	29	23	17	12	6	0
	8	193	180	167	153	140	127	114	101	88	74	61	54	47	41	34	27	22	16	11	5	0
	9	180	168	156	144	131	118	105	93	81	68	56	50	44	38	32	26	21	16	10	5	0
	10	168	157	145	134	122	110	98	86	75	63	51	46	40	35	29	24	19	14	10	5	0
1	1	270	258	234	215	196	178	160	142	124	106	88	78	67	57	46	36	28	19	10	2	0
	2	259	241	224	206	189	171	154	136	119	101	84	74	64	55	45	35	28	21	14	7	0
	3	246	229	212	195	179	163	146	130	113	97	80	71	61	52	42	33	26	20	13	7	0
	4	234	218	202	186	171	155	139	124	108	92	76	67	58	50	41	32	26	19	13	6	0
	5	222	207	192	177	162	147	132	117	102	87	72	64	56	47	39	31	25	19	12	6	0
	6	210	196	182	168	154	139	124	110	96	82	68	60	53	45	38	30	24	18	12	6	0
	7	198	184	171	157	144	130	117	103	90	76	63	56	49	42	35	28	22	17	11	6	0
	8	185	172	159	147	134	122	109	97	84	72	59	53	46	40	33	27	22	16	11	5	0
	9	173	161	149	137	125	113	101	89	78	66	54	48	43	37	32	26	21	16	10	5	0
	10	160	149	138	127	116	104	93	82	71	60	49	44	39	34	29	24	19	14	10	5	0
2	2	251	234	217	200	183	166	150	133	116	99	82	72	62	52	42	32	24	16	8	0	
	3	238	222	206	190	174	158	142	126	110	94	78	69	59	50	40	31	23	15	7	0	
	4	227	212	197	181	166	151	135	120	104	91	74	65	56	48	39	30	22	15	8	0	
	5	215	200	186	171	157	142	128	113	99	84	70	62	53	45	36	28	21	14	7	0	
	6	202	188	174	161	148	134	121	107	94	80	66	58	50	43	35	27	20	13	6	0	
	7	190	177	164	151	138	126	113	100	87	74	61	54	47	40	33	26	20	13	6	0	
	8	178	166	154	142	129	117	105	92	80	68	56	50	44	37	31	25	19	13	6	0	
	9	165	154	143	131	120	108	97	86	74	63	52	46	41	35	30	24	18	12	6	0	
	10	152	141	130	120	109	99	88	78	67	57	46	41	36	32	27	22	16	11	6	0	
3	3	231	215	200	184	169	153	138	122	107	91	76	67	58	50	41	32	24	16	8	0	
	4	219	204	189	174	160	145	131	116	102	87	72	64	55	47	38	30	22	15	8	0	
	5	207	193	171	165	151	138	124	110	96	82	68	60	52	44	36	29	22	15	7	0	
	6	195	182	169	156	143	130	116	103	90	77	64	57	49	42	35	27	20	13	7	0	
	7	182	170	158	145	133	120	108	95	83	70	58	51	45	38	32	25	19	13	1	0	
	8	170	158	146	135	123	112	100	89	77	66	54	48	42	36	30	24	18	12	6	0	

	9	158	147	136	125	114	103	92	81	71	60	49	44	38	33	27	22	16	11	6	0
	10	144	134	124	114	104	94	84	74	64	54	44	39	34	30	25	20	15	10	5	0
4	4	211	197	183	169	154	140	125	111	97	83	69	61	53	46	38	30	23	16	8	0
	5	199	186	173	159	146	132	119	105	92	79	66	58	51	43	36	28	21	14	7	0
	6	187	174	162	149	137	124	112	99	87	74	61	54	47	40	33	26	20	13	6	0
	7	175	163	151	139	127	115	104	92	80	68	56	50	43	37	30	24	18	12	6	0
	8	162	151	140	129	118	107	96	85	74	63	52	46	40	34	28	22	16	11	6	0
	9	149	139	129	119	109	99	89	78	67	57	47	42	36	31	25	20	15	10	5	0
	10	137	127	118	108	99	89	80	70	61	51	42	37	32	28	23	18	14	9	4	0
5	5	191	178	165	153	140	127	115	102	89	76	63	56	49	43	36	29	22	15	7	0
	6	180	168	156	144	132	119	107	95	83	71	59	53	46	40	33	27	20	13	7	0
	7	167	156	145	134	122	111	100	88	77	66	55	49	43	36	30	24	18	12	6	0
	8	155	144	134	123	113	102	92	81	71	60	50	44	39	33	28	22	16	11	6	0
	9	142	132	122	112	103	93	84	74	65	55	45	40	35	29	24	19	14	10	5	0
	10	129	120	111	102	94	85	76	67	58	49	40	35	31	26	22	17	13	9	4	0
6	6	172	160	149	137	126	114	103	91	80	68	57	51	45	40	34	28	21	14	7	0
	7	160	149	138	127	117	106	96	85	74	63	52	47	41	36	30	25	19	13	6	0
	8	147	137	127	117	107	97	87	77	67	57	47	42	37	32	27	22	16	11	6	0
	9	134	125	116	107	97	88	79	70	61	51	42	37	33	28	24	19	14	10	5	0
	10	121	113	105	96	88	79	71	62	54	45	37	33	29	24	20	16	12	8	4	0
7	7	152	142	132	122	112	101	91	89	70	60	50	45	40	35	30	25	19	13	6	0
	8	140	130	121	111	102	92	83	73	64	54	45	40	36	31	27	22	16	11	6	0
	9	126	117	109	101	92	83	74	66	57	49	40	36	32	27	23	19	14	10	5	0
	10	114	106	98	90	82	74	66	58	51	43	35	31	27	23	19	15	11	8	4	0
8	8	132	123	114	105	96	87	78	69	60	51	42	38	33	29	24	20	15	10	5	0
	9	119	111	103	95	87	79	70	62	54	46	38	34	30	25	21	17	13	9	4	0
	10	106	99	92	84	77	69	62	54	47	40	33	29	25	21	17	13	10	7	3	0
9	9	111	105	98	90	82	74	66	59	51	43	35	31	27	24	20	16	12	8	4	0
	10	98	91	84	77	71	64	58	51	44	37	30	26	22	19	15	11	8	6	3	0
10	10	90	84	78	72	65	59	53	46	40	34	28	24	20	17	13	9	6	3	0	

Отклонение ординат биномнальной асимметричной кривой

$$\Phi = f(C_s,\ p) = \frac{k_p - 1{,}0}{C_v}$$

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

обеспеченности от середины (от 1,0) при $C_v = 1{,}0$

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

c_s	Обеспечен										
	0,01	0,1	1	3	5	10	20	25	30	40	50
						i_{f_v}					
1,55	7,20	5,30	3,36	2,40	1,96	1,33	0,69	0,46	0,29	—0,01	—0,24
1,60	7,31	5,37	3,39	2,42	1,96	1,33	0,68	0,46	0,28	—0,02	—0,25
1,65	7,42	5,44	3,42	2,43	1,96	1,32	0,67	0,45	0,27	—0,02	—0,26
1,70	7,54	5,50	3,44	2,44	1,97	1,32	0,66	0,44	0,26	—0,03	—0,27
1,75	7,65	5,57	3,47	2,45	1,98	1,32	0,65	0,43	0,25	—0,04	—0,28
1,80	7,76	5,64	3,50	2,46	1,98	1,32	0,64	0,42	0,24	—0,05	—0,28
1,85	7,78	5,70	3,52	2,48	1,98	1,32	0,64	0,41	0,23	—0,06	—0,28
1,90	7,98	5,77	3,55	2,49	1,99	1,31	0,63	0,40	0,22	—0,07	—0,29
1,95	8,10	5,84	3,58	2,50	2,00	1,30	0,62	0,40	0,21	—0,08	—0,30
2,00	8,21	5,91	3,60	2,51	2,00	1,30	0,61	0,39	0,20	—0,08	—0,31
2,10	—	6,04	3,65	2,53	2,01	1,29	0,59	0,37	0,18	—0,10	—0,32
2,20	—	6,14	3,68	2,54	2,02	1,27	0,57	0,35	0,16	—0,12	—0,33
2,30	—	6,26	3,73	2,57	2,01	1,25	0,55	0,32	0,14	—0,13	—0,34
2,40	—	6,37	3,78	2,60	2,00	1,25	0,52	0,29	0,12	—0,14	—0,35
2,50	—	6,50	3,82	2,62	2,00	1,23	0,50	0,27	0,10	—0,16	—0,36
2,60	—	6,54	3,86	2,63	2,00	1,21	0,48	0,25	0,085	—0,17	—0,37
2,70	—	6,75	3,92	2,64	2,00	1,19	0,46	0,24	0,070	—0,18	—0,38
2,80	—	6,85	3,96	2,65	2,00	1,18	0,44	0,22	0,057	—0,20	—0,39
2,90	—	7,00	4,01	2,66	1,99	1,15	0,41	0,20	0,041	—0,21	—0,39
3,00	—	7,10	4,05	2,66	1,97	1,13	0,39	0,19	0,027	—0,22	—0,40
3,10	—	7,23	4,09	2,66	1,97	1,11	0,37	0,17	0,010	—0,23	—0,40
3,20	—	7,35	4,11	2,66	1,96	1,09	0,35	0,15	—0,006	—0,25	—0,41
3,30	—	7,44	4,15	2,66	1,95	1,08	0,33	0,13	—0,022	—0,26	—0,41
3,40	—	7,54	4,18	2,66	1,94	1,06	0,31	0,11	—0,035	—0,27	—0,41
3,50	—	7,64	4,21	2,66	1,93	1,04	0,29	0,085	—0,049	—0,28	—0,41
3,60	—	7,72	4,24	2,65	1,93	1,03	0,28	0,064	—0,072	—0,28	—0,42
3,70	—	7,86	4,26	2,66	1,91	1,01	0,26	0,048	—0,084	—0,29	—0,42
3,80	—	7,97	4,29	2,65	1,90	1,00	0,24	0,032	—0,095	—0,30	—0,42
3,90	—	8,08	4,32	2,65	1,90	0,98	0,23	0,020	—0,11	—0,30	—0,41
4,00	—	8,17	4,34	2,65	1,90	0,96	0,21	0,010	—0,12	—0,31	—0,41
4,10	—	8,29	4,36	2,65	1,89	0,95	0,20	0,000	—0,13	—0,31	—0,41
4,20	—	8,38	4,39	2,64	1,88	0,93	0,19	0,010	—0,13	—0,31	—0,41
4,30	—	8,49	4,40	2,64	1,87	0,92	0,17	0,021	—0,14	—0,32	—0,40
4,40	—	8,60	4,42	2,63	1,86	0,91	0,15	0,032	—0,15	—0,32	—0,40
4,50	—	8,69	4,44	2,62	1,85	0,89	0,14	0,042	—0,16	—0,32	—0,40
4,60	—	8,79	4,46	2,62	1,84	0,87	0,13	0,052	—0,17	—0,32	—0,40
4,70	—	8,89	4,49	2,61	1,83	0,85	0,11	0,064	—0,18	—0,32	—0,40
4,80	—	8,96	4,50	2,60	1,81	0,82	0,10	0,075	—0,19	—0,32	—0,39
4,90	—	9,04	4,51	2,60	1,80	0,80	0,084	0,087	—0,19	—0,33	—0,386
5,00	—	9,12	4,54	2,60	1,78	0,78	0,068	0,099	—0,20	—0,33	—0,380
5,10	—	9,20	4,57	2,60	1,76	0,76	0,051	0,11	—0,21	—0,33	—0,376
5,20	—	9,27	4,59	2,60	1,74	0,73	0,035	0,12	—0,21	—0,33	—0,370

ность p в %									C_s
60	70	75	80	90	95	97	99	99,9	
—0,46	—0,64	—0,73	—0,82	—1,00	—1,12	—1,16	—1,23	—1,28	1,55
—0,46	—0,64	—0,73	—0,81	—0,99	—1,10	—1,14	—1,20	—1,24	1,60
—0,46	—0,64	—0,72	—0,81	—0,98	—1,08	—1,12	—1,17	—1,20	1,65
—0,47	—0,64	—0,72	—0,81	—0,97	—1,06	—1,10	—1,14	—1,17	1,70
—0,48	—0,64	—0,72	—0,80	—0,96	—1,04	—1,08	—1,12	—1,14	1,75
—0,48	—0,64	—0,72	—0,80	—0,94	—1,02	—1,06	—1,09	—1,11	1,80
—0,48	—0,64	—0,72	—0,80	—0,93	—1,000	—1,04	—1,06	—1,08	1,85
—0,48	—0,64	—0,72	—0,79	—0,92	—0,98	—1,01	—1,04	—1,05	1,90
—0,48	—0,64	—0,72	—0,78	—0,91	—0,96	—0,99	—1,02	—1,02	1,95
—0,49	—0,64	—0,71	—0,78	—0,90	—0,95	—0,97	—0,99	—1,00	2,00
—0,50	—0,64	—0,70	—0,76	—0,866	—0,914	—0,930	—0,945	—0,953	2,10
—0,50	—0,64	—0,69	—0,75	—0,842	—0,882	—0,895	—0,905	—0,910	2,20
—0,50	—0,63	—0,68	—0,74	—0,815	—0,850	—0,860	—0,867	—0,870	2,30
—0,51	—0,62	—0,67	—0,72	—0,792	—0,820	—0,826	—0,830	—0,834	2,40
—0,51	—0,62	—0,66	—0,71	—0,768	—0,790	—0,795	—0,800	—0,800	2,50
—0,51	—0,61	—0,66	—0,70	—0,746	—0,764	—0,766	—0,770	—0,770	2,60
—0,51	—0,61	—0,65	—0,68	—0,724	—0,736	—0,739	—0,740	—0,740	2,70
—0,51	—0,60	—0,64	—0,67	—0,703	—0,711	—0,714	—0,715	—0,715	2,80
—0,51	—0,60	—0,63	—0,65	—0,681	—0,689	—0,690	—0,690	—0,690	2,90
—0,51	—0,59	—0,62	—0,64	—0,661	—0,665	—0,666	—0,666	—0,666	3,00
—0,51	—0,58	—0,60	—0,62	—0,641	—0,645	—0,646	—0,646	—0,646	3,10
—0,51	—0,57	—0,59	—0,61	—0,621	—0,625	—0,625	—0,625	—0,625	3,20
—0,50	—0,56	—0,58	—0,59	—0,605	—0,606	—0,606	—0,606	—0,606	3,30
—0,50	—0,55	—0,57	—0,58	—0,586	—0,587	—0,589	—0,589	—0,589	3,40
—0,50	—0,54	—0,55	—0,56	—0,570	—0,571	—0,571	—0,571	—0,571	3,50
—0,49	—0,54	—0,54	—0,55	—0,555	—0,556	—0,556	—0,556	—0,552	3,60
—0,48	—0,52	—0,53	—0,54	—0,541	—0,541	—0,541	—0,541	—0,541	3,70
—0,48	—0,51	—0,52	—0,52	—0,526	—0,526	—0,526	—0,526	—0,526	3,80
—0,47	—0,50	—0,51	—0,51	—0,513	—0,513	—0,513	—0,513	—0,513	3,90
—0,46	—0,49	—0,49	—0,50	—0,500	—0,500	—0,500	—0,500	—0,500	4,00
—0,46	—0,48	—0,484	—0,486	—0,487	—0,487	—0,487	—0,487	—0,487	4,10
—0,45	—0,47	—0,473	—0,475	—0,476	—0,476	—0,476	—0,476	—0,476	4,20
—0,44	—0,46	—0,462	—0,465	—0,465	—0,465	—0,465	—0,465	—0,465	4,30
—0,44	—0,451	—0,454	—0,455	—0,455	—0,455	—0,455	—0,455	—0,455	4,40
—0,43	—0,441	—0,444	—0,445	—0,445	—0,445	—0,445	—0,445	—0,445	4,50
—0,42	—0,432	—0,434	—0,435	—0,435	—0,435	—0,435	—0,435	—0,435	4,60
—0,42	—0,424	—0,425	—0,426	—0,426	—0,426	—0,426	—0,426	—0,426	4,70
—0,41	—0,416	—0,416	—0,416	—0,416	—0,416	—0,416	—0,416	—0,416	4,80
—0,401	—0,407	—0,408	—0,409	—0,409	—0,409	—0,409	—0,409	—0,409	4,90
—0,395	—0,399	—0,400	—0,400	—0,400	—0,400	—0,400	—0,400	—0,400	5,00
—0,388	—0,391	—0,392	—0,392	—0,392	—0,392	—0,392	—0,392	—0,392	5,10
—0,382	—0,384	—0,385	—0,385	—0,385	—0,385	—0,385	—0,385	—0,385	5,20

C_v	Обеспечен									
	0,01	0,1	1	3	5	10	20	25	30	40
0,05	1,197	1,162	1,120	1,096	1,084	1,064	1,042	1,033	1,026	1,012
0,06	1,241	1,197	1,145	1,116	1,101	1,077	1,050	1,039	1,031	1,014
0,07	1,285	1,232	1,171	1,136	1,118	1,090	1,058	1,046	1,036	1,016
0,08	1,328	1,268	1,196	1,155	1,136	1,104	1,067	1,052	1,040	1,018
0,09	1,372	1,303	1,221	1,176	1,153	1,117	1,074	1,058	1,045	1,020
0,10	1,416	1,338	1,247	1,196	1,170	1,130	1,083	1,065	1,050	1,022
0,11	1,467	1,377	1,274	1,217	1,188	1,143	1,091	1,071	1,054	1,024
0,12	1,517	1,417	1,302	1,238	1,206	1,157	1,090	1,077	1,059	1,025
0,13	1,568	1,456	1,330	1,260	1,224	1,170	1,107	1,083	1,063	1,027
0,14	1,618	1,496	1,357	1,281	1,242	1,184	1,115	1,089	1,068	1,028
0,15	1,669	1,535	1,384	1,302	1,260	1,197	1,124	1,096	1,072	1,030
0,16	1,720	1,574	1,412	1,323	1,278	1,210	1,132	1,101	1,076	1,032
0,17	1,770	1,614	1,440	1,344	1,296	1,224	1,140	1,108	1,081	1,033
0,18	1,821	1,653	1,467	1,366	1,314	1,237	1,148	1,114	1,085	1,035
0,19	1,871	1,693	1,494	1,387	1,332	1,251	1,156	1,120	1,090	1,036
0,20	1,922	1,732	1,522	1,408	1,350	1,264	1,164	1,126	1,094	1,038
0,21	1,981	1,778	1,552	1,431	1,369	1,278	1,172	1,132	1,098	1,039
0,22	2,041	1,823	1,582	1,454	1,388	1,291	1,179	1,137	1,102	1,040
0,23	2,100	1,869	1,613	1,476	1,407	1,304	1,187	1,142	1,105	1,041
0,24	2,159	1,914	1,643	1,499	1,426	1,318	1,194	1,149	1,109	1,042
0,25	2,218	1,960	1,674	1,522	1,445	1,332	1,202	1,154	1,113	1,043
0,26	2,278	2,006	1,704	1,545	1,464	1,345	1,210	1,160	1,117	1,044
0,27	2,337	2,051	1,734	1,568	1,483	1,358	1,217	1,166	1,121	1,045
0,28	2,396	2,097	1,764	1,590	1,502	1,372	1,225	1,172	1,124	1,046
0,29	2,456	2,142	1,795	1,613	1,521	1,386	1,232	1,177	1,128	1,047
0,30	2,515	2,188	1,825	1,636	1,540	1,399	1,240	1,183	1,132	1,048
0,31	2,584	2,239	1,858	1,660	1,560	1,413	1,247	1,188	1,135	1,048
0,32	2,662	2,290	1,891	1,683	1,579	1,426	1,254	1,193	1,138	1,048
0,33	2,721	2,340	1,924	1,707	1,599	1,440	1,262	1,198	1,142	1,048
0,34	2,789	2,391	1,957	1,730	1,618	1,454	1,269	1,203	1,145	1,048
0,35	2,858	2,442	1,990	1,754	1,638	1,468	1,276	1,208	1,148	1,048
0,36	2,926	2,493	2,024	1,778	1,658	1,481	1,283	1,212	1,151	1,048
0,37	2,994	2,544	2,057	1,801	1,677	1,495	1,290	1,217	1,154	1,048
0,38	3,063	3,594	2,090	1,825	1,697	1,509	1,298	1,222	1,158	1,048
0,39	2,132	3,645	2,123	1,848	1,716	1,522	1,305	1,227	1,161	1,048
0,40	3,200	3,696	2,156	1,872	1,736	1,536	1,312	1,232	1,164	1,048
0,41	3,278	2,753	2,192	1,897	1,756	1,549	1,319	1,236	1,167	1,048
0,42	3,356	2,810	2,227	1,923	1,776	1,563	1,325	1,241	1,169	1,047
0,43	3,433	2,867	2,262	1,948	1,797	1,576	1,332	1,246	1,172	1,047
0,44	3,511	2,924	2,298	1,974	1,817	1,590	1,338	1,250	1,174	1,046

обеспеченности K_p при $C_s=2C_v$

ность p в %

50	60	70	75	80	90	95	97	99	99,9
0,999	0,986	0,974	0,966	0,958	0,936	0,920	0,908	0,888	0,852
0,999	0,983	0,968	0,959	0,949	0,924	0,904	0,890	0,867	0,825
0,998	0,980	0,962	0,952	0,941	0,911	0,889	0,873	0,846	0,779
0,998	0,978	0,956	0,945	0,932	0,899	0,873	0,856	0,824	0,772
0,997	0,975	0,951	0,938	0,924	0,886	0,858	0,838	0,803	0,746
0,997	0,972	0,945	0,931	0,915	0,874	0,842	0,821	0,782	0,719
0,996	0,969	0,939	0,924	0,906	0,862	0,827	0,805	0,763	0,696
0,995	0,965	0,933	0,916	0,898	0,850	0,813	0,789	0,744	0,674
0,994	0,962	0,927	0,909	0,890	0,838	0,798	0,783	0,726	0,651
0,993	0,958	0,921	0,902	0,881	0,826	0,784	0,757	0,707	0,628
0,992	0,955	0,916	0,894	0,872	0,814	0,769	0,740	0,688	0,606
0,990	0,952	0,910	0,887	0,864	0,802	0,754	0,724	0,669	0,583
0,989	0,948	0,904	0,880	0,856	0,790	0,740	0,708	0,650	0,560
0,988	0,945	0,898	0,873	0,847	0,778	0,725	0,692	0,632	0,537
0,987	0,941	0,892	0,865	0,838	0,766	0,711	0,676	0,613	0,515
0,986	0,938	0,886	0,858	0,830	0,754	0,696	0,660	0,594	0,492
0,984	0,934	0,880	0,851	0,822	0,743	0,683	0,646	0,578	0,475
0,983	0,930	0,873	0,843	0,813	0,731	0,670	0,631	0,562	0,457
0,981	0,926	0,867	0,836	0,804	0,720	0,657	0,617	0,547	0,440
0,980	0,922	0,861	0,828	0,796	0,708	0,644	0,603	0,531	0,423
0,978	0,918	0,854	0,821	0,788	0,697	0,630	0,588	0,515	0,406
0,976	0,914	0,848	0,814	0,779	0,686	0,617	0,574	0,499	0,388
0,975	0,910	0,842	0,806	0,770	0,674	0,604	0,560	0,483	0,371
0,973	0,906	0,836	0,799	0,762	0,663	0,591	0,546	0,468	0,354
0,972	0,902	0,829	0,791	0,754	0,651	0,578	0,531	0,452	0,336
0,970	0,898	0,823	0,784	0,745	0,640	0,565	0,517	0,436	0,319
0,968	0,893	0,817	0,776	0,736	0,629	0,553	0,504	0,423	0,306
0,966	0,889	0,810	0,769	0,727	0,618	0,542	0,492	0,410	0,294
0,963	0,884	0,804	0,761	0,718	0,608	0,530	0,480	0,396	0,281
0,961	0,880	0,798	0,754	0,709	0,597	0,518	0,467	0,383	0,268
0,959	0,875	0,792	0,746	0,700	0,586	0,506	0,454	0,370	0,256
0,957	0,870	0,785	0,738	0,692	0,575	0,495	0,442	0,357	0,243
0,955	0,866	0,779	0,731	0,683	0,564	0,483	0,430	0,344	0,230
0,952	0,861	0,773	0,723	0,674	0,554	0,471	0,417	0,330	0,217
0,950	0,857	0,766	0,716	0,665	0,543	0,460	0,404	0,317	0,205
0,948	0,852	0,769	0,708	0,656	0,532	0,448	0,392	0,304	0,192
0,945	0,847	0,753	0,701	0,648	0,522	0,437	0,382	0,294	0,184
0,942	0,842	0,746	0,693	0,640	0,513	0,427	0,371	0,284	0,175
0,939	0,837	0,739	0,686	0,631	0,503	0,416	0,361	0,275	0,166
0,936	0,832	0,732	0,678	0,623	0,494	0,406	0,350	0,265	0,158

C_v	Обеспечен									
	0,01	0,1	1	3	5	10	20	25	30	40
0,45	3,589	2,981	2,334	1,999	1,837	1,603	1,345	1,254	1,177	1,046
0,46	3,667	3,038	2,369	2,024	1,857	1,616	1,352	1,259	1,180	1,046
0,47	3,745	3,095	2,404	2,050	1,977	1,630	1,358	1,264	1,182	1,045
0,48	3,822	3,152	2,440	2,075	1,898	1,643	1,365	1,268	1,185	1,045
0,49	3,900	3,209	2,476	2,101	1,918	1,657	1,371	1,272	1,187	1,044
0,50	3,978	3,266	2,511	2,126	1,938	1,670	1,378	1,277	1,190	1,044
0,51	4,065	3,328	2,549	2,152	1,959	1,683	1,384	1,280	1,192	1,043
0,52	4,152	3,390	2,587	2,178	1,980	1,697	1,390	1,284	1,191	1,041
0,53	4,238	3,452	2,625	2,204	2,000	1,170	1,396	1,288	1,196	1,040
0,54	4,325	3,514	2,663	2,230	2,021	1,724	1,402	1,291	1,198	1,038
0,55	4,412	3,576	2,700	2,256	2,042	1,737	1,408	1,294	1,200	1,037
0,56	4,499	3,638	2,738	2,282	2,063	1,750	1,414	1,298	1,202	1,036
0,57	4,586	3,700	2,776	2,308	2,084	1,764	1,420	1,302	1,204	1,034
0,58	4,672	3,762	2,814	2,334	2,104	1,777	1,426	1,305	1,206	1,033
0,59	4,759	3,824	2,852	2,360	2,125	1,791	1,432	1,308	1,208	1,031
0,60	4,846	3,886	2,890	2,386	2,146	1,804	1,438	1,312	1,210	1,030
0,61	4,942	3,954	2,930	2,413	2,167	1,817	1,444	1,315	1,211	1,028
0,62	5,039	4,021	2,970	2,441	2,188	1,831	1,450	1,318	1,211	1,027
0,63	5,135	4,089	3,010	2,468	2,210	1,844	1,456	1,321	1,212	1,025
0,64	5,231	4,157	3,050	2,495	2,231	1,858	1,462	1,324	1,213	1,024
0,65	5,328	4,224	3,090	2,522	2,252	1,871	1,468	1,328	1,214	1,022
0,66	5,424	4,292	3,129	2,550	2,273	1,884	1,473	1,331	1,214	1,020
0,67	5,520	4,360	3,169	2,577	2,294	1,898	1,479	1,334	1,215	1,019
0,68	5,616	4,428	3,209	2,604	2,316	1,911	1,485	1,337	1,216	1,017
0,69	5,713	4,495	3,249	2,632	2,337	1,925	1,491	1,339	1,216	1,016
0,70	5,809	4,563	3,289	2,659	2,358	1,938	1,497	1,343	1,217	1,014
0,71	5,913	4,636	3,331	2,687	2,379	1,951	1,502	1,346	1,218	1,011
0,72	6,017	4,710	3,374	2,714	2,400	1,963	1,506	1,348	1,218	1,008
0,73	6,121	4,783	3,416	2,742	2,421	1,976	1,511	1,350	1,219	1,005
0,74	6,225	4,856	3,458	2,770	2,442	1,988	1,516	1,353	1,220	1,002
0,75	6,328	4,930	3,500	2,798	2,463	2,001	1,520	1,356	1,220	0,999
0,76	6,432	5,003	3,543	2,825	2,484	2,014	1,525	1,358	1,221	0,966
0,77	6,536	5,076	3,585	2,853	2,505	2,026	1,530	1,360	1,222	0,993
0,78	6,640	5,149	3,627	2,881	2,526	2,039	1,535	1,363	1,223	0,990
0,79	6,744	5,223	3,670	2,908	2,547	2,051	1,539	1,366	1,223	0,987
0,80	6,848	5,296	3,712	2,936	2,568	2,064	1,544	1,368	1,224	0,984
0,81	6,962	5,374	3,756	2,964	2,589	2,076	1,547	1,369	1,223	0,981
0,82	7,075	5,452	3,800	2,992	2,611	2,089	1,550	1,370	1,222	0,978
0,83	7,189	5,530	3,843	3,019	2,632	2,101	1,554	1,371	1,222	0,975
0,84	7,302	5,608	3,887	3,047	2,654	2,114	1,557	1,372	1,221	0,972
0,85	7,416	5,686	3,931	3,075	2,675	2,126	1,460	1,373	1,220	0,970
0,86	7,530	5,764	3,975	3,103	2,696	2,138	1,563	1,374	1,219	0,967
0,87	7,643	5,842	4,019	3,131	2,718	2,151	1,566	1,375	1,218	0,964
0,88	7,757	5,920	4,062	3,158	2,739	2,163	1,570	1,376	1,218	0,961

ность p в %

50	60	70	75	80	90	95	97	99	99,9
0,933	0,828	0,726	0,671	0,615	0,484	0,395	0,340	0,255	0,150
0,930	0,823	0,719	0,664	0,607	0,474	0,384	0,330	0,245	0,141
0,927	0,818	0,712	0,656	0,599	0,465	0,374	0,319	0,235	0,132
0,924	0,813	0,705	0,649	0,590	0,455	0,353	0,309	0,226	0,124
0,921	0,808	0,698	0,641	0,582	0,446	0,353	0,298	0,216	0,116
0,918	0,803	0,691	0,634	0,574	0,435	0,342	0,288	0,206	0,107
0,915	0,798	0,684	0,626	0,566	0,428	0,333	0,279	0,198	0,102
0,912	0,792	0,677	0,618	0,558	0,419	0,325	0,271	0,191	0,096
0,908	0,786	0,670	0,611	0,551	0,411	0,316	0,262	0,183	0,090
0,905	0,781	0,663	0,603	0,543	0,402	0,308	0,254	0,176	0,085
0,902	0,776	0,656	0,595	0,535	0,394	0,299	0,245	0,168	0,080
0,899	0,770	0,650	0,587	0,527	0,386	0,290	0,236	0,160	0,074
0,896	0,765	0,643	0,579	0,519	0,377	0,282	0,228	0,153	0,068
0,892	0,759	0,636	0,572	0,512	0,369	0,273	0,219	0,145	0,063
0,889	0,754	0,629	0,564	0,504	0,360	0,265	0,211	0,138	0,058
0,886	0,748	0,622	0,556	0,496	0,352	0,256	0,202	0,130	0,052
0,882	0,742	0,615	0,549	0,488	0,344	0,248	0,196	0,125	0,050
0,878	0,737	0,608	0,543	0,481	0,336	0,241	0,189	0,119	0,047
0,874	0,731	0,601	0,536	0,473	0,328	0,234	0,183	0,114	0,044
0,870	0,726	0,594	0,529	0,465	0,320	0,226	0,177	0,108	0,042
0,866	0,720	0,587	0,522	0,458	0,312	0,218	0,170	0,103	0,040
0,862	0,714	0,580	0,516	0,450	0,304	0,211	0,164	0,098	0,037
0,858	0,709	0,573	0,509	0,442	0,296	0,204	0,158	0,092	0,034
0,854	0,703	0,566	0,502	0,434	0,288	0,196	0,152	0,087	0,032
0,850	0,698	0,559	0,496	0,427	0,280	0,188	0,145	0,081	0,030
0,846	0,692	0,552	0,489	0,419	0,272	0,181	0,139	0,076	0,027
0,841	0,686	0,546	0,482	0,412	0,266	0,175	0,134	0,072	0,025
0,837	0,680	0,539	0,474	0,405	0,259	0,168	0,129	0,069	0,023
0,832	0,674	0,533	0,467	0,399	0,253	0,163	0,124	0,065	0,021
0,828	0,668	0,526	0,460	0,392	0,246	0,157	0,119	0,062	0,019
0,823	0,662	0,520	0,452	0,386	0,240	0,150	0,113	0,058	0,018
0,818	0,656	0,514	0,445	0,379	0,234	0,144	0,108	0,054	0,016
0,814	0,650	0,507	0,438	0,372	0,227	0,138	0,103	0,051	0,014
0,809	0,644	0,501	0,431	0,365	0,221	0,132	0,098	0,047	0,012
0,805	0,638	0,494	0,423	0,359	0,214	0,126	0,093	0,044	0,010
0,800	0,632	0,488	0,416	0,352	0,208	0,120	0,088	0,040	0,008
0,795	0,626	0,482	0,410	0,345	0,203	0,116	0,084	0,038	0,007
0,790	0,619	0,475	0,403	0,338	0,197	0,112	0,080	0,036	0,007
0,784	0,613	0,469	0,397	0,330	0,192	0,109	0,075	0,034	0,006
0,779	0,606	0,462	0,390	0,323	0,186	0,105	0,071	0,032	0,006
0,774	0,600	0,456	0,384	0,316	0,181	0,101	0,067	0,030	0,005
0,769	0,594	0,450	0,378	0,309	0,176	0,097	0,063	0,027	0,004
0,764	0,587	0,443	0,371	0,302	0,170	0,093	0,058	0,025	0,004
0,758	0,581	0,437	0,365	0,294	0,165	0,090	0,054	0,023	0,003

C_v	Обеспечен									
	0,01	0,1	1	3	5	10	20	25	30	40
0,89	7,870	5,998	4,106	3,186	2,761	2,176	1,573	1,377	1,217	0,958
0,90	7,984	6,076	4,150	3,214	2,782	2,188	1,576	1,378	1,216	0,955
0,91	8,107	6,159	4,196	3,243	2,803	2,200	1,579	1,379	1,215	0,951
0,92	8,229	6,242	4,241	3,273	2,825	2,211	1,583	1,380	1,214	0,947
0,93	8,352	6,326	4,286	3,302	2,846	2,222	1,586	1,380	1,212	0,943
0,94	8,474	6,409	4,332	3,331	2,868	2,234	1,590	1,381	1,211	0,939
0,95	8,597	6,492	4,378	3,360	2,889	2,246	1,593	1,382	1,210	0,936
0,96	8,720	6,575	4,423	3,390	2,910	2,257	1,596	1,383	1,209	0,932
0,97	8,842	6,658	4,468	3,419	2,932	2,268	1,600	1,384	1,208	0,928
0,98	8,965	6,742	4,514	3,448	2,953	2,280	1,603	1,384	1,206	0,924
0,99	9,087	6,825	4,560	3,478	2,975	2,292	1,607	1,385	1,205	0,920
1,00	9,210	6,908	4,605	3,507	2,996	2,303	1,610	1,386	1,204	0,916
1,05		7,329	4,828	3,654	3,108	2,352	1,618	1,388	1,190	0,893
1,10		7,750	5,050	3,800	3,220	2,400	1,625	1,390	1,175	0,870
1,15		8,200	5,290	3,960	3,310	2,450	1,628	1,370	1,160	0,850
1,20		8,650	5,530	4,120	3,400	2,500	1,630	1,350	1,145	0,830
1,25		9,125	5,775	4,270	3,500	2,535	1,626	1,340	1,128	0,805
1,30		9,600	6,020	4,420	3,600	2,570	1,621	1,330	1,110	0,780
1,35		10,10	6,285	4,565	3,700	2,605	1,616	1,320	1,095	0,752
1,40		10,60	6,550	4,710	3,800	2,640	1,610	1,310	1,080	0,725
1,45		11,12	6,815	4,845	3,880	2,670	1,600	1,295	1,060	0,698
1,50		11,65	7,080	4,980	3,960	2,700	1,590	1,280	1,040	0,670
1,55		12,20	7,330	5,115	4,045	2,725	1,575	1,260	1,015	0,638
1,60		12,75	7,580	5,250	4,130	2,750	1,560	1,240	0,990	0,605
1,65		13,28	7,840	5,385	4,215	2,775	1,545	1,210	0,964	0,575
1,70		13,80	8,100	5,520	4,300	2,800	1,530	1,180	0,938	0,545
1,75		14,35	8,360	5,650	4,385	2,825	1,512	1,148	0,904	0,518
1,80		14,90	8,620	5,78	4,470	2,850	1,495	1,115	0,870	0,490
1,85		15,52	8,885	5,905	4,540	2,875	1,478	1,088	0,845	0,462
1,90		16,15	9,150	6,030	4,620	2,900	1,460	1,060	0,820	0,435
1,95		16,75	9,415	6,165	4,705	2,915	1,441	1,040	0,791	0,408
2,00		17,35	9,680	6,300	4,790	2,930	1,422	1,020	0,762	0,380
2,05		17,98	9,940	6,425	4,870	2,940	1,404	1,000	0,740	0,360
2,10		18,60	10,200	6,550	4,950	2,950	1,385	0,979	0,719	0,340
2,15		19,25	10,465	6,665	5,025	2,975	1,362	0,954	0,690	0,318
2,20		19,90	10,730	6,780	5,100	3,000	1,340	0,930	0,660	0,295
2,25		20,55	11,00	6,900	5,165	3,000	1,318	0,905	0,635	0,278
2,30		21,20	11,28	7,020	5,230	3,000	1,295	0,880	0,610	0,260
2,35		21,85	11,54	7,135	5,290	2,990	1,286	0,850	0,582	0,240
2,40		22,50	11,80	7,250	5,350	2,980	1,240	0,820	0,555	0,220
2,45		23,15	12,08	7,375	5,400	2,965	1,205	0,786	0,528	0,200
2,50		23,80	12,36	7,500	5,450	2,950	1,170	0,752	0,500	0,180
2,55		24,45	12,64	7,625	5,485	2,925	1,130	0,716	0,475	0,165
2,60		25,10	12,92	7,750	5,520	2,900	1,090	0,680	0,450	0,150

ность p в %

50	60	70	75	80	90	95	97	99	99,9
0,753	0,574	0,430	0,358	0,287	0,159	0,086	0,050	0,021	0,003
0,748	0,568	0,424	0,352	0,280	0,154	0,082	0,046	0,019	0,002
0,742	0,562	0,417	0,346	0,274	0,149	0,079	0,044	0,018	0,002
0,737	0,557	0,411	0,339	0,269	0,144	0,076	0,043	0,017	0,002
0,732	0,551	0,404	0,333	0,263	0,139	0,073	0,041	0,016	0,002
0,726	0,545	0,397	0,326	0,257	0,134	0,070	0,040	0,015	0,002
0,720	0,540	0,390	0,320	0,252	0,129	0,066	0,038	0,014	0,002
0,715	0,534	0,384	0,314	0,246	0,125	0,063	0,036	0,014	0,001
0,710	0,528	0,377	0,307	0,240	0,120	0,060	0,035	0,013	0,001
0,704	0,522	0,370	0,301	0,234	0,115	0,057	0,033	0,012	0,001
0,698	0,517	0,364	0,294	0,229	0,110	0,054	0,032	0,011	0,001
0,693	0,511	0,357	0,288	0,223	0,105	0,051	0,030	0,010	0,001
0,666	0,480	0,328	0,264	0,190	0,090	0,040	0,023	0,0074	0,000
0,640	0,450	0,300	0,241	0,175	0,074	0,030	0,016	0,0047	0,000
0,610	0,420	0,275	0,217	0,152	0,062	0,023	0,012	0,0031	0,000
0,580	0,390	0,250	0,198	0,130	0,049	0,016	0,008	0,0015	0,000
0,550	0,362	0,226	0,170	0,112	0,040	0,012	0,0059	0,0010	0,000
0,520	0,334	0,203	0,146	0,094	0,030	0,0086	0,0038	0,0005	0,000
0,490	0,308	0,179	0,126	0,080	0,023	0,0063	0,0025	0,0002	0,000
0,460	0,283	0,155	0,106	0,065	0,016	0,0040	0,0012	0,000	0,000
0,432	0,258	0,138	0,092	0,056	0,012	0,0030	0,0006	0,000	0,000
0,405	0,234	0,120	0,077	0,046	0,009	0,0020	0,000	0,000	0,000
0,378	0,212	0,105	0,066	0,038	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000
0,350	0,190	0,090	0,056	0,030	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
0,325	0,170	0,078	0,048	0,024	0,0035	0,000	0,000	0,000	0,000
0,300	0,150	0,067	0,039	0,019	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
0,275	0,134	0,058	0,033	0,016	0,0012	0,000	0,000	0,000	0,000
0,250	0,117	0,048	0,027	0,012	0,0005	0,000	0,000	0,000	0,000
0,231	0,104	0,040	0,022	0,0094	0,0002	0,000	0,000	0,000	0,000
0,212	0,090	0,033	0,017	0,0068	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,194	0,080	0,028	0,014	0,0053	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,175	0,070	0,022	0,011	0,0038	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,158	0,062	0,018	0,009	0,0025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,140	0,053	0,014	0,007	0,0012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,124	0,045	0,012	0,0054	0,0006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,108	0,037	0,009	0,0038	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,095	0,032	0,0072	0,0029	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,082	0,027	0,0055	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,071	0,023	0,0043	0,0015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,060	0,019	0,0031	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,055	0,016	0,0026	0,0006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,050	0,012	0,0020	0,0002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,040	0,010	0,0015	0,0001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,040	0,008	0,0010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Ординаты кривых трехпараметрического гамма-распределения

$P\%$	Коэффициент изменчивости C_v														
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,00	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
							$C_s=2C_v$								
0,01	1,42	1,92	2,52	3,20	3,98	4,85	5,81	6,85	7,98	9,21	10,5	11,8	13,2	14,7	16,4
0,05	1,36	1,79	2,29	2,85	3,48	4,18	4,95	5,77	6,66	7,60	8,61	9,65	10,8	11,9	13,1
0,1	1,34	1,73	2,19	2,70	3,27	3,87	4,56	5,30	6,08	6,91	7,75	8,65	9,60	10,6	11,6
0,3	1,30	1,64	2,02	2,45	2,91	3,42	3,96	4,55	5,16	5,81	6,47	7,10	7,98	8,70	9,50
0,5	1,28	1,59	1,94	2,32	2,74	3,20	3,68	4,19	4,74	5,30	5,90	6,50	7,13	7,80	8,42
1	1,25	1,52	1,82	2,16	2,51	2,89	3,29	3,71	4,15	4,60	5,05	5,53	6,02	6,55	7,08
3	1,20	1,41	1,64	1,87	2,13	2,39	2,66	2,94	3,21	3,51	3,80	4,12	4,42	4,71	4,98
5	1,17	1,35	1,54	1,74	1,94	2,15	2,36	2,57	2,78	3,00	3,22	3,40	3,60	3,80	3,96
10	1,13	1,26	1,40	1,51	1,67	1,80	1,94	2,06	2,19	2,30	2,40	2,50	2,57	2,64	2,70
20	1,08	1,16	1,24	1,31	1,38	1,44	1,50	1,54	1,58	1,61	1,62	1,63	1,62	1,61	1,59
30	1,05	1,09	1,13	1,16	1,19	1,21	1,22	1,22	1,22	1,20	1,18	1,14	1,11	1,08	1,04
40	1,02	1,04	1,05	1,05	1,01	1,03	1,01	0,98	0,96	0,92	0,87	0,83	0,77	0,72	0,67
50	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92	0,89	0,85	0,80	0,75	0,69	0,64	0,58	0,52	0,46	0,40
60	0,97	0,94	0,90	0,85	0,80	0,75	0,69	0,63	0,57	0,51	0,45	0,39	0,33	0,28	0,23
70	0,94	0,89	0,82	0,76	0,69	0,62	0,55	0,49	0,42	0,36	0,30	0,25	0,20	0,16	0,12
75	0,93	0,86	0,78	0,71	0,63	0,56	0,49	0,42	0,35	0,29	0,24	0,19	0,15	1,11	0,08
80	0,92	0,83	0,74	0,66	0,57	0,50	0,42	0,35	0,28	0,22	0,18	0,13	0,09	0,06	0,05
90	0,87	0,75	0,64	0,53	0,44	0,35	0,27	0,21	0,15	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01
95	0,84	0,70	0,56	0,45	0,34	0,26	0,18	0,12	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00
97	0,82	0,66	0,52	0,39	0,29	0,20	0,14	0,09	0,05	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
99	0,78	0,59	0,44	0,30	0,21	0,13	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
							$C_s=3C_v$								
0,01	1,46	2,05	2,83	3,80	4,94	6,26	7,70	9,30	11,0	12,8	14,8	16,8	9,00	21,2	23,5
0,05	1,39	1,88	2,49	3,24	4,09	5,04	6,08	7,21	8,40	9,65	11,0	12,4	13,8	115,2	16,8
0,1	1,36	1,81	2,35	3,01	3,74	4,56	5,44	6,38	7,37	8,41	9,49	10,6	11,8	13,0	14,2
0,3	1,31	1,69	2,12	2,65	3,21	3,82	4,48	5,17	5,88	6,61	7,37	8,15	8,94	9,75	10,6
0,5	1,28	1,63	2,03	2,48	2,97	3,50	4,06	4,64	5,24	5,84	6,47	7,10	7,75	8,41	9,07
1	1,25	1,55	1,90	2,26	2,66	3,07	3,50	3,96	4,41	4,87	5,33	5,79	6,26	6,74	7,21

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

$C_s = 4C_v$

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

Нормированные отклонения от среднего значения ординат логарифмически значениях обеспеченности p и коэффициента асимметрии C_s или

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

нормальной кривой обеспеченности $\frac{x-\overline{x}}{\sigma}=\Phi(p, C_s)$ при разных соответствующего ему коэффициента скошенности $S=f(C_s)$

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

Коэффициенты $\frac{1}{n}$, x и a, a'

(по М. Ф. Срибному)

Характеристика русла	$\frac{1}{n}$	x	a	a'
Естественные русла в весьма благоприятных условиях (чистое, прямое, незасоренное, земляное, со свободным течением русло)	40	0,20	0,25	21,6
Периодические потоки (большие и малые) при очень хорошем состоянии поверхности и формы ложа	30	0,23	0,20	17,3
Сравнительно чистые русла постоянных равнинных водотоков в обычных условиях, извилистые, с некоторыми неправильностями в направлении струй, или же прямые, но с неправильностями в рельефе дна (отмели, промоины, местами камни). Земляные русла периодических водотоков (сухих логов) в относительно благоприятных условиях	25	0,25	0,18	15,5
Периодические (ливневые и весенние) водотоки, несущие во время паводка заметное количество наносов, с крупногалечниковым или покрытым растительностью (травой и пр.) ложем. Поймы больших и средних рек, сравнительно разработанные, покрытые нормальным количеством растительности (травы, кустарники)	20	0,28	0,15	13,0
Русла периодических водотоков, сильно засоренные и извилистые, Сравнительно заросшие, неровные, плохо разработанные поймы рек (промоины, кустарники, деревья, с наличием заводей). Порожистые участки равнинных рек . .	15	0,31	0,12	10,4
Реки и поймы, значительно заросшие (со слабым течением), с большими глубокими промоинами	12,5	0,33	0,11	9,5
Поймы такие же, как предыдущей категории, но с сильно неправильным косоструйным течением, заводями и пр.	10	0,37	0,09	7,8
Поймы с очень большими мертвыми пространствами, с местными углублениями-озерами и пр.	7,5	0,41	0,07	6,0

Сокращенная таблица значений коэффициентов $A = \frac{1}{n} h_{ср}^{x} \sqrt{h_{ср}}$

(по А. П. Браславскому)

$h_{ср}$	Значения $\frac{1}{n}$					$h_{ср}$	Значения $\frac{1}{n}$				
	12,5	15	20	25	30		12,5	15	20	25	30
0,01	0,27	0,36	0,55	0,79	1,04	1,55	18,0	21,4	28,2	34,7	41,4
0,05	1,10	1,40	2,04	2,79	3,55	1,60	18,5	22,0	28,9	35,5	42,3
0,10	1,85	2,32	3,32	4,44	5,58	1,65	19,0	22,5	29,6	36,3	43,2
0,15	2,59	3,23	4,56	6,03	7,51	1,70	19,4	23,0	30,2	37,2	44,2
0,20	3,28	4,07	5,70	7,48	9 26	1,75	19,9	23,6	30,9	38,0	45,2
0,25	3,94	4,87	6,76	8,79	10,9	1,80	20,4	24,1	31,6	38,8	46,1
0,30	4,61	5,67	7,82	10,1	12,5	1,85	20,8	24,6	32,3	39,6	47,0
0,35	5,22	6,41	8,80	11,4	14,0	1,90	21,3	25,2	33,0	40,4	48,0
0,40	5,84	7,15	9,77	12,6	15,4	1,95	21,8	25,8	33,6	41,2	48,9
0,45	6,43	7,84	10,7	13,8	16,8	2,00	22,2	26,3	34,3	42,0	49,8
0,50	7,03	8,54	11,6	14,9	18,1	2,05	22,6	26,8	35,0	42,8	50,7
0,55	7,60	9,22	12,5	16,0	19,4	2,10	23,1	27,3	35,6	43,5	51,5
0,60	8,18	9,90	13,4	17,0	20,7	2,15	23,6	27,9	36,2	44,3	52,4
0,65	8,74	10,6	14,2	18,0	21,9	2,20	24,0	28,4	36,9	45,1	53,3
0,70	9,30	11,2	15,1	19,1	23,1	2,25	24,4	28,9	37,6	45,8	54,2
0,75	9,85	11,8	16,0	20,1	24,3	2,30	24,9	29,4	38,2	46,6	55,0
0,80	10,4	12,5	16,8	21,1	25,5	2,35	25,4	29,9	38,8	47,4	55,9
0,85	10,9	13,1	17,6	22,1	26,6	2,40	25,8	30,5	39,5	48,2	56,8
0,90	11,4	13,7	18,4	23,1	27,8	2,45	26,2	31,0	40,2	48,9	57,6
0,95	12,0	14,4	19,2	24,0	28,9	2,50	26,7	31,5	40,8	49,7	58,5
1,00	12,5	15,0	20,0	25,0	30,0	2,55	27,1	32,0	41,4	50 4	59,3
1,05	13,0	15,6	20,8	25,9	31,1	2,60	27,6	32,5	42,1	51,2	60,2
1,10	13,5	16,2	21,5	26,8	32,2	2,65	28,0	33,0	42,7	51,9	61,0
1,15	14,0	16,8	22,3	27,7	33,2	2,70	28,5	33,5	43,3	52,6	61,9
1,20	14,5	17,4	23,1	28,6	34,3	2,75	28,9	34,0	44,0	53,4	62,7
1,25	15,0	18,0	23,8	29,5	35,3	2,80	29,3	34,5	44,6	54,1	63,5
1,30	15,5	18,6	24,5	30,4	36,4	2,85	29,8	35,0	45,2	54,8	64,4
1,35	16,0	18,1	25,3	31,3	37,4	2,90	30,2	35,5	45,8	55,5	65,2
1,40	16,5	19,7	26,0	32,2	38,4	2,95	30,7	36,0	46,5	56,3	66,1
1,45	17,0	20,3	26,7	33,0	39,4	3,00	31,1	36,5	47,1	57,0	66,9
1,50	17,5	20,8	27,4	33,9	40,4						

Вспомогательная таблица к расчету предельных скоростей и расходов донных наносов по формуле Г. И. Шамова

n	$n^{\frac{1}{2}}$	$n^{\frac{1}{3}}$	$n^{\frac{1}{4}}$	$n^{\frac{1}{6}}$
0,000001	0,001	0,0100	0,0316	0,1000
0,000005	0,00224	0,0171	0,0469	0,1307
0,00001	0,00316	0,0215	0,0565	0,1468
0,00005	0,00707	0,0368	0,0841	0,1919
0,0001	0,0100	0,0464	0,1000	0,2155
0,0002	0,0141	0,0585	0,1187	0,2418
0,0003	0,0173	0,0699	0,1316	0,2587
0,0004	0,0200	0,0737	0,1414	0,2714
0,0005	0,0224	0,0794	0,1497	0,2817
0,0006	0,0245	0,0843	0,1565	0,2903
0,0007	0,0265	0,0888	0,1628	0,2980
0,0008	0,0283	0,0928	0,1682	0,3047
0,0009	0,0300	0,0965	0,1732	0,3106
0,0010	0,0316	0,1000	0,1778	0,3162
0,0011	0,0332	0,1032	0,1882	0,3212
0,0012	0,0346	0,1062	0,1860	0,3259
0,0013	0,0361	0,1091	0,1900	0,3303
0,0014	0,0374	0,1119	0,1934	0,3345
0,0015	0,0387	0,1145	0,1967	0,3383
0,002	0,0447	0,1260	0,2114	0,3550
0,003	0,0548	0,1442	0,2341	0,3798
0,004	0,0632	0,1587	0,2514	0,3984
0,005	0,0707	0,1710	0,2659	0,4135
0,006	0,0775	0,1817	0,2784	0,4263
0,007	0,0837	0,1913	0,2893	0,4374
0,008	0,0894	0,2000	0,2990	0,4472
0,009	0,0949	0,2080	0,3080	0,4562
0,010	0,1000	0,2154	0,3162	0,4641
0,011	0,1049	0,2224	0,3239	0,4716
0,012	0,1095	0,2289	0,3309	0,4784
0,013	0,1140	0,2351	0,3376	0,4849
0,014	0,1183	0,2410	0,3439	0,4909
0,015	0,1225	0,2466	0,3500	0,4966
0,020	0,1414	0,2714	0,3760	0,5210
0,025	0,1581	0,2924	0,3976	0,5407
0,030	0,1732	0,3107	0,4162	0,5574
0,035	0,1871	0,3271	0,4325	0,5719
0,040	0,2000	0,3420	0,4472	0,5848
0,045	0,2121	0,3557	0,4605	0,5964
0,050	0,2236	0,3684	0,4729	0,6070
0,060	0,2449	0,3915	0,4949	0,6257
0,070	0,2646	0,4121	0,5144	0,6420
0,080	0,2828	0,4309	0,5318	0,6564
0,090	0,3000	0,4481	0,5477	0,6694
0,100	0,3162	0,4642	0,5623	0,6713

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава 1. **Гидрографические характеристики рек** 5

§ 1.1. Определение длины реки и вычисление коэффициента ее извилистости . . . . . —
§ 1.2. Построение гидрографической схемы 9
§ 1.3 Определение площади водосбора 10
§ 1.4 Определение средней ширины, вытянутости, асимметричности водосбора и густоты речной сети 13
§ 1.5 Построение графика нарастания площади водосбора по длине реки 14
§ 1.6. Построение графика изменения ширины водосбора по длине реки (идограмма) 15
§ 1.7. Определение средней высоты и среднего уклона водосбора и реки 17
§ 1.8. Построение продольного профиля и определение среднего уклона реки 22
§ 1.9. Построение гипсографической кривой водосбора 26
§ 1.10. Определение взвешенного коэффициента озерности 27

Глава 2. **Гидрометеорологические характеристики речных водосборов** 31

§ 2.1. Обработка снегомерных съемок и вычисление запасов воды в снежном покрове . . . . . —
§ 2.2. Обработка лент самописца дождя 40
§ 2.3. Расчет дождевых осадков 47
§ 2.4. Вычисление слоя осадков 62
§ 2.5. Расчет испарения с водной поверхности 80
§ 2.6. Расчет водного баланса речных бассейнов 102
§ 2.7. Расчленение гидрографа стока дождевых паводков 119

Глава 3. **Норма годового стока** 123

§ 3.1. Расчет нормы годового стока при наличии длительных наблюдений 125
§ 3.2. Выбор расчетного периода для определения нормы стока . . 129
§ 3.3. Расчет нормы годового стока при наличии коротких рядов наблюдений 137
§ 3.4. Определение нормы годового стока при отсутствии гидрометрических наблюдений 160

Глава 4. **Расчет значений годового стока различной обеспеченности** 173

§ 4.1. Определение коэффициентов вариации и асимметрии при наличии длительных наблюдений 175
§ 4.2. Определение коэффициентов вариации и асимметрии при наличии коротких рядов наблюдений 185
§ 4.3. Определение коэффициентов вариации и асимметрии при отсутствии наблюдений 187
§ 4.4. Построение кривых обеспеченности и определение значений годового стока различной обеспеченности 189

Глава 5. **Установление внутригодового распределения стока** 206

§ 5.1. Расчет распределения стока при наличии гидрометрических наблюдений . . . . . —
§ 5.2. Расчеты внутригодового распределения стока при отсутствии или недостаточности данных наблюдений 215

Глава 6. **Расчет минимальных расходов воды** 228

§ 6.1. Определение минимальных расходов различной обеспеченности при наличии гидрометрических наблюдений . . . . . —
§ 6.2. Определение расчетных минимальных расходов — при отсутствии или недостаточности гидрометрических наблюдений 230

Глава 7. **Максимальные расходы воды** 240

§ 7.1. Принципы и методы расчета . . . . . —
§ 7.2. Расчет максимальных расходов воды при наличии длительного ряда гидрометрических наблюдений 244
§ 7.3. Формулы максимального стока 258
§ 7.4. Расчет максимальных расходов воды при отсутствии гидрометрических наблюдений 276
§ 7.5. Определение максимальных расходов воды по следам прошедших паводков 334

Глава 8. **Расчет гидрографов весеннего половодья и дождевых паводков** 352

§ 8.1. Расчет по моделям наблюденных гидрографов 353
§ 8.2. Расчет по геометрическим фигурам и уравнениям 358
§ 8.3. Генетический метод построения гидрографов 368

Глава 9. **Заиление водохранилищ** 383

§ 9.1. Установление расчетных исходных данных . . . . . —
§ 9.2. Расчет заиления водохранилищ 388
Литература 394

Приложения:

1. Размеры рамок и площадей трапеций топографической съемки масштаба 1 : 100 000 (20′×30′) 398
2. Параметры ливней A и B 401
3. Величины обеспеченности, вычисленные по формуле $p=\frac{m-0{,}3}{n+0{,}4}\times$ $\times 100\%$ 404
4. Максимальная упругость водяного пара (в миллибарах) 415
5. Величины поглощенной водой суммарной радиации солнца S_p (в *кал/см² сут*) в зависимости от широты местности, общей (N_0) и нижней ($N_н$) облачности 417

6. Отклонение ординат биномиальной асимметричной кривой обеспеченности от середины (от 1,0) при $C_v=1{,}0$ 440
7. Ординаты биномиальной асимметричной кривой обеспеченности k_p при $C_s=2C_v$ 444
8. Ординаты кривых трехпараметрического гамма-распределения . . 450
9. Нормированные отклонения от среднего значения ординат логарифмически нормальной кривой обеспеченности $\frac{x-\overline{x}}{\sigma}=\Phi(p,C_s)$ . . . 452
10. Коэффициенты $\frac{1}{n}$, x и a, a' (по М. Ф. Срибному) 454
11. Сокращенная таблица значений коэффициентов $A=\frac{1}{n}h_{ср}^{x}\sqrt{h_{ср}}$ (по А. П. Браславскому) 455
12. Вспомогательная таблица к расчету предельных скоростей и расходов донных наносов по формуле Г. И. Шамова 456

Графические приложения (вкладка):

I. Бассейн р. Каменки.
II. Продольный профиль р. Колымы.
III. Клетчатка вероятностей.
IV—XV. Поправки E на испарение из осадкомера. Январь—декабрь.
XVI—XXII. Значения параметра N %. Апрель—октябрь.
XXIII. Среднее годовое количество осадков.
XXIV. Средний годовой слой испарения с суши.
XXV. Средний годовой сток рек СССР в *л/сек* с 1 *км*^{2}.
XXVI. Значения коэффициента вариации годового стока.
XXVII. Районирование территории СССР применительно к расчету максимальных расходов талых вод.
XXVIII. График степенной функции $(F+1)^n=[(F+1), n]$.
XXIX. Ординаты кривых трехпараметрического гамма-распределения.
XXX. Зависимость продолжительности подъема паводка ($t_п$) от отношения максимального модуля к слою осадков $\frac{q_{max\,p}}{h_p}$ и коэффициента несимметричности (K_s).
XXXI. Средний слой стока весеннего половодья (*мм*).
XXXII. Коэффициент вариации слоя стока половодья.
XXXIII. Карта средней мутности рек СССР (составлена Г. И. Шамовым).
XXXIV. Схематическая карта содержания мелких фракций (<0,05 *мм*) во взвешенных наносах рек Европейской территории СССР, Кавказа и Средней Азии (составлена Г. И. Шамовым).
XXXV. Расчетный график для определения продолжительности заиления водохранилищ.
XXXVI. Максимальные модули стока в *л/сек* с 1 *км*^{2} обеспеченностью 1% для площади водосбора 200 *км*^{2}.
XXXVII. Карта районов с постоянными параметрами n и n_1.
XXXVIII. Районы с постоянным коэффициентом λ.

XXXIX. Коэффициенты редукции максимального модуля стока в зависимости от площади водосбора (F) и показателя степени редукции (n).
XL. Номограмма для определения $v^* = 9 \cdot I^{1/3} F^{1/4}$.
XLI. Суточный слой осадков в *мм* обеспеченностью 1%.
XLII. Районы распространения типовых кривых редукции осадков.
XLIII. Слои паводочного стока в *мм* обеспеченностью 1%.
XLIV. Карта распространения выдающихся половодий и паводков на реках СССР.
XLV. Карта минимального 30-дневного зимнего стока 80%-ной обеспеченности (в *л/сек* с 1 *км*^{2}).
XLVI Карта районов для определения расчетного минимального стока.

Клибашев Константин Павлович

Горошков Иван Филиппович

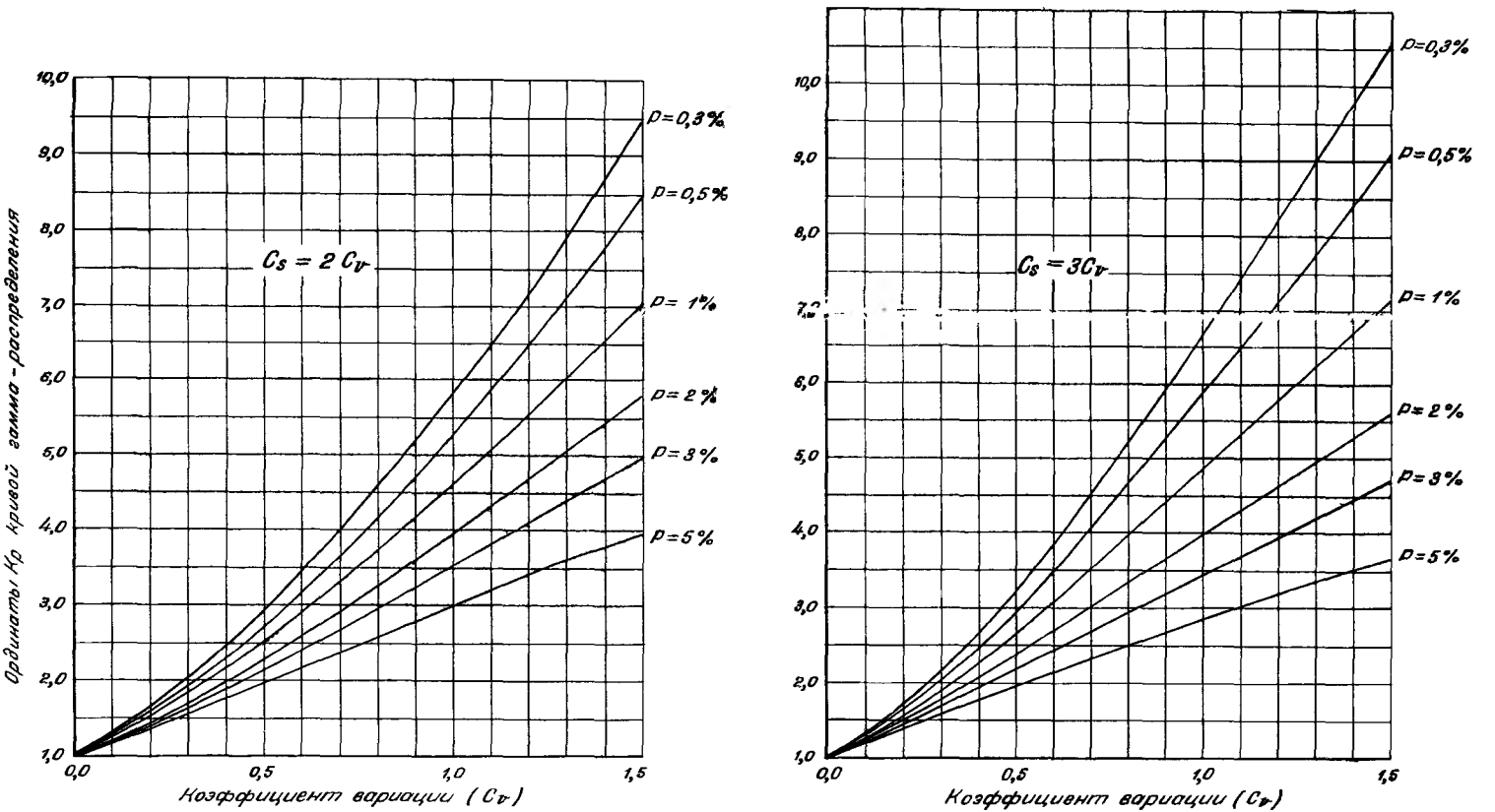
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Под редакцией Чеботарева Александра Ивановича

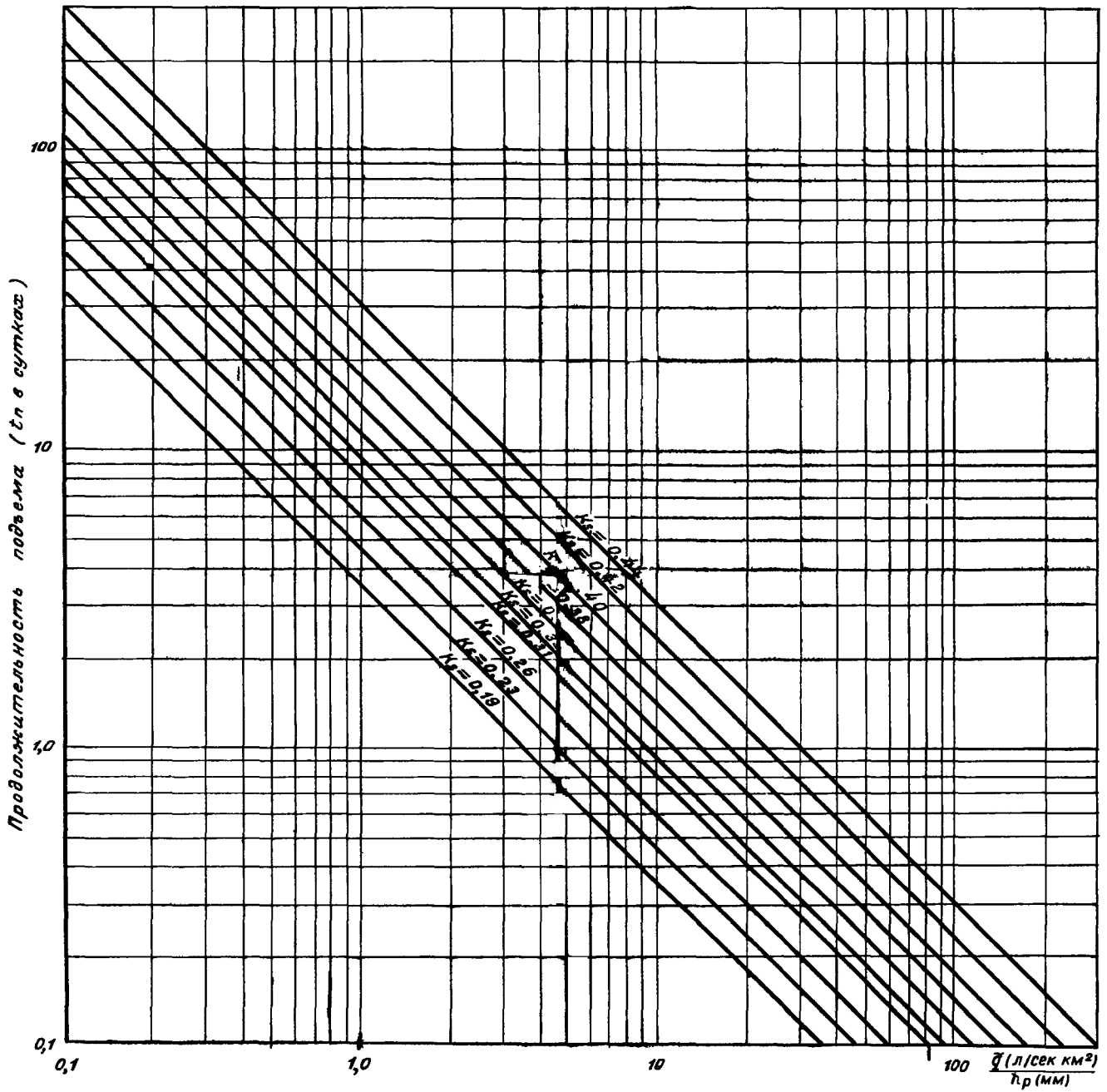
Редактор Л. А. Чепелкина Переплет Е. И. Васильева
Худож. редактор И. Н. Кошаровский. Технич. редактор М. И. Брайнина
Корректоры: М. А. Гальперина и П. В. Стебливец

Сдано в набор 12/VIII 1970 г. Подписано к печати 2/XII 1970 г. Бум. тип. № 1. 60×90$^1/_{16}$. Бум. л. 14,375+15 вкл. Печ. л. 36,25. Уч.-изд. л. 40,90. Тираж 5000 экз. М-12560. Индекс ГЛ-41. Гидрометеорологическое издательство. Ленинград, В-53, 2-я линия, д. 23. Цена 1 руб. 63 коп. Заказ № 419.

Ленинградская типография № 3 Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР. Ленинград, Прачечный пер., д. 6.



Ординаты кривых трехпараметрического гамма-распределения.



Зависимость продолжительности подъема паводка ($t_п$) от отношения максимального модуля к слою осадков $\frac{\widetilde{q}_{max\ p}}{h_p}$ и коэффициента несимметричности ($K_в$)