

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Кафедра экономики природопользования

**Залепухин В.В.**

# **Г И Д Р О Л О Г И Я**

**Методические указания  
к практическим занятиям  
для студентов, обучающихся по специальности  
«Геоэкология»**

Волгоград 2003

Рецензент:  
доцент кафедры «Экономика природопользования»,  
кандидат биологических наук *P. I. I obel*

Печатается по решению учебно-методической комиссии  
факультета управления и региональной экономики  
(протокол № 5 от 1.03.2002)

### **Залепухин В.В.**

Гидрология: Методические указания к практическим занятиям для студентов, обучающихся по специальности «Геоэкология». — Волгоград: Издательство Волгоградского государственного университета, 2001. — 48 с.

Методические указания предназначены для решения практических задач по водохозяйственным расчетам, наиболее часто встречающимся в ходе оценки водных ресурсов и гидрометрических наблюдений за водными объектами.

Для студентов факультета управления и региональной экономики, обучающихся по специальности «Геоэкология».



© В.В.Залепухин, 2002.  
© Издательство Волгоградского  
государственного университета, 2002

## **ВВЕДЕНИЕ.**

Курс гидрологии как науки, изучающей качественные и количественные закономерности распределения, использования и охраны водных ресурсов, является логическим продолжением дисциплин «Учение о гидросфере» и «Социо-экологические проблемы гидросферы». Однако в этих курсах студенты-геоэкологи изучают главным образом качественные аспекты состояния водных ресурсов. Между тем в практической деятельности будущему экологу обязательно придется столкнуться с различными вариантами водохозяйственных расчетов, входящих в систему управления водными ресурсами и рационального водопользования, или с расчетами сбросов различных соединений в водные объекты, чем занимаются природоохранные организации.

Необходимость создания методических указаний по гидрологии обусловлена стремлением собрать воедино различные материалы, связанные с расчетами важнейших гидрологических характеристик водных объектов. Данные указания не охватывают всего объема курса «Гидрологии», изучение которого предусмотрено Государственным общеобразовательным стандартом, и могут рассматриваться как практикум по гидрометрии и водохозяйственным расчетам. Поэтому в каждой теме приводятся ссылки на соответствующий лекционный материал, либо на литературу для самостоятельного изучения по той или иной теме.

Главная цель создания методических указаний — ознакомить будущих специалистов-геоэкологов с основными расчетами, применяемыми в процессах проектирования и эксплуатации водных объектов, в том числе искусственно созданных.

## Тема 1. Измерение и расчет скоростей течения

### ЛЕКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ:

1. Виды наблюдений на гидрологических постах и станциях.
2. Гидрологический створ.
3. Поперечный профиль реки и его характеристики.

Количественные параметры водных объектов базируются на данных гидрометрических измерений. Водность любой реки можно охарактеризовать величиной расхода воды  $Q$ , который представляет количество воды, протекающей через живое сечение реки за 1 секунду. Расход воды является основной единицей измерения речного стока и измеряется в  $\text{м}^3/\text{с}$ . Расход воды может быть определен непосредственно путем измерения скорости течения и площади живого сечения. Все остальные характеристики стока (объем стока  $W$ , модуль стока  $M$ , слой стока  $h$  и др.) рассчитываются с учетом расходов воды.

Измерение скоростей течения в реке является одним из основных видов гидрометрических работ и ведется на гидрологических постах, станциях и створах. Знание скоростей течения важно также для судоходства и лесосплава, при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений на реках (плотин, мостов, водозаборов и т. д.). Поток воды всегда распадается на ряд струй, имеющих различные скорости движения и образующих завихрения и вертикальные циркуляции. Характер распределения скоростей внутри речного потока определяется уклоном дна, рельефом речного бассейна и дна реки, кривизной русла, наличием препятствий на дне реки (водной растительности, наносов и др.). Скорости течения измеряют на гидрологическом створе, в котором различают промерные и скоростные вертикали. На промерных вертикалях измеряют глубины водных объектов, а на скоростных, кроме глубин, и скорости течения. Прямое измерение скоростей течения может быть проведено при помощи поплавков, гидрологических вертушек; гидрометрических трубок; лазерных, электромагнитных, ультразвуковых измерителей потока.

Наиболее часто в гидрометрии применяют приборы, в которых скорость потока влияет на количество оборотов ротора (враща-

ющейся части). Такую вертушку опускают на необходимую глубину на металлической штанге или тросе и измеряют скорость течения в отдельных точках потока на выбранных скоростных вертикалях. Число скоростных вертикалей определяется формой и размерами поперечного сечения речного русла и как правило совпадает с промерными вертикалями, хотя возможен вариант, когда количество промерных вертикалей вдвое больше, чем скоростных.

Таблица 1

**Количество скоростных вертикалей  
в зависимости от ширины реки.**

Ширина реки, м	Расстояние между скоростными вертикалями, м
2 5	0,5 1
5 20	1 2
20 30	2
30 40	3
40 60	4
60 80	6
80 100	8

Число точек измерения скорости на каждой вертикали определяется глубиной на вертикали и требуемой точностью измерения расхода воды. В большинстве случаев скорости измеряют в точках 0,2 h и 0,8 h на всех вертикалях в свободном ото льда русле. При наличии ледяного покрова измерение скоростей течения ведут на 0,15; 0,50 и 0,85 h. При сокращенном способе измерений скорость измеряют на 0,6 h. При измерении скоростей течения необходима, как минимум, двукратная повторность измерений.

Поскольку скорость течения меняется и по глубине, и по живому сечению потока, для практических целей вводят понятие *п̄а̄а̄і̄а̄е̄ п̄е̄і̄д̄і̄п̄д̄е̄ о̄а̄-а̄і̄е̄ӯ*. На каждой вертикали она может быть вычислена по формулам:

- при измерении в двух точках

$$V_{\text{ср.}} = (v_{0,2} + v_{0,8}) / 2 \quad (1.1)$$

- при измерении скорости в одной точке

$$V_{\text{ср.}} = v_{0,6} \quad (1.2)$$

Измерение скоростей течения в поверхностном слое осуществляется с помощью поверхностных поплавков или гидрометрических шестов. Для определения поверхностной скорости по длине

реки разбивают 3—4 створа, причем участок, на котором проводятся измерения должен быть прямолинейным, а время прохождения поплавок между двумя створами должно составлять не менее 30 секунд. Скорость движения поплавок  $v$  (в м/с) рассчитывается путем деления расстояния между створами  $L$  (в метрах) на время движения поплавок от верхнего створа к нижнему  $t_c$  (в секундах). Измерение следует повторить для 8—10 поплавок и вывести среднее значение  $t_{cp}$ .

Тогда

$$V_{cp} = L / t_{cp} \quad (1.3.)$$

При отсутствии фактических измерений, но при наличии данных о поперечном сечении, средняя скорость потока может быть рассчитана по формуле Шези:

$$V_{cp} = C \sqrt{RI}, \quad (1.4.)$$

где  $R$  — гидравлический радиус потока,  
 $I$  — продольный уклон водной поверхности,  
 $C$  — скоростной коэффициент Шези.

Если у нас есть данные о строении поперечного сечения русла реки, то при сечении, близком к прямоугольному, формула Шези примет вид:

$$V_{cp} = C \sqrt{hI} \quad (1.5.)$$

где  $R = h_{cp}$ ;

Для параболического сечения русла:

$$V_{cp} = C \cdot \sqrt{\frac{2}{3} h_{max}} \cdot I \quad (1.6.)$$

Значение коэффициента  $C$  может быть определено по формулам Базена или Павловского. В эмпирической формуле Базена учитывается коэффициент шероховатости русла, определяемый по таблице М.Ф.Скрибного:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \quad (1.7.)$$

где  $\gamma$  — коэффициент шероховатости,  
 $R$  — гидравлический радиус, м.

Таблица 2

**Русловые коэффициенты естественных водотоков  
(по М.П.Скрибному)**

	Характеристика русла	l / n	n	$\gamma$
1.	Естественное русло в благоприятных условиях (чистое, прямое, незасоренное, земляное, со свободным течением)	40	0,025	1,25
2.	Русла постоянных водотоков равнинного типа (преимущественно больших и средних рек) в благоприятных условиях состояния ложа и течения воды. Периодические потоки (большие и малые) при очень хорошем состоянии поверхности и формы ложа.	30	0,033	2,00
3.	Сравнительно чистые русла постоянных равнинных водотоков в обычных условиях, извилистые, с незначительными искажениями в направлении струй или прямые, но с неправильностями в рельефе дна (отмели, промоины, местами камни). Земляные русла периодических водотоков в относительно благоприятных условиях.	25	0,040	2,75
4.	Русла больших и средних рек, значительно засоренные, извилистые и частично заросшие, каменистые, с беспокойным течением. Периодические (ливневые и весенние) водотоки, несущие во время паводка заметное количество наносов, с крупногалечниковым или покрытым растительностью (травой и др.) ложем. Поймы больших и средних рек, сравнительно хорошо разработанные, покрытые нормальным количеством растительности (травы, кустарника)	20	0,050	3,75
5.	Русла периодических водотоков, сильно заросшие и извилистые. Достаточно заросшие, неровные, плохо разработанные поймы рек с наличием промоин, кустарников, деревьев, заводей. Галечно-валунные русла горного типа, с неправильной поверхностью водного зеркала. Порожистые участки равнинных рек.	15	0,067	5,50
6.	Реки и поймы, весьма сильно заросшие, со слабым течением и с большими глубокими промоинами. Валунные, горного типа русла с бурным и пенистым течением, с изрытой поверхностью водного зеркала и летящими брызгами воды	12,5	0,080	7,00
7.	Поймы, весьма сильно заросшие, но с сильным косо-струйным течением, заводами и др. Русла горноводопадного типа с крупновалунным извилистым строением ложа, ярко выраженными перепадами воды, сильной пенистостью и значительным шумом потока.	10	0,100	9,00
8.	Реки болотного типа с зарослями, кочками, многочисленными застойными зонами. Поймы с большими мёртвыми пространствами и местными углублениями-озёрами и пр.	7,5	0,133	12,00
9.	Потоки, подобные селевым, состоящие из грязи, камней и др. Сплошь облесённые глухие поймы таёжного типа.	5,0	0,200	20,00
10.	Склоны бассейнов в естественном состоянии (множитель m может составлять от 1 до 4 в зависимости от характера склона)	2,5 m	—	—

Для определения скоростного коэффициента Шези по формуле Н.Н.Павловского существует специальная таблица, в ко-

торой рассматривается величина  $n$ , обратная коэффициенту шероховатости  $\gamma$  в формуле Базена и приводимая в таблице 3.

Таблица 3

**Значения коэффициента Шези по Н.Н.Павловскому**

R, м	n							
	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,050	0,080	0,100
0,10	30,6	22,4	17,3	13,8	11,2	8,1	3,7	2,3
0,12	32,6	23,5	18,3	14,7	12,1	8,2	4,1	2,7
0,14	33,0	24,5	19,1	15,4	12,8	9,3	4,5	3,0
0,16	34,0	25,4	19,9	16,1	13,4	10,0	4,8	3,3
0,18	34,8	26,2	20,6	16,8	14,0	10,4	5,2	3,6
0,20	35,7	26,9	21,3	17,4	14,5	10,9	5,4	3,8
0,22	36,4	27,6	21,9	17,9	15,0	11,2	5,8	4,1
0,24	37,1	28,3	22,5	18,5	15,5	11,8	6,0	4,3



При необходимости проводится интерполяция данных.

Формула Шези основана на допущении равномерного движения воды в русле реки. Поскольку в естественных условиях движение, близкое к равномерному, наблюдается только при высоких уровнях, то наиболее точное значение средней скорости потока может быть получено для многоводных периодов в режиме реки.

## Тема 2. Расчет расходов воды аналитическим методом

### ЛЕКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ:

1. Речной сток и его характеристики.
2. Поперечный профиль реки и его характеристики.

Водный режим и водность любой реки характеризуются рядом показателей, важнейшим из которых является *δαπὸί ἄ ἄί ἄῦ*  $Q$  — это количество воды, протекающее через живое сечение реки за 1 секунду, и измеряется в  $\text{м}^3 / \text{с}$ . То есть расход воды можно определить по формуле:

$$Q = w \cdot v \quad (2.1.)$$

где  $w$  — площадь живого сечения реки в  $\text{м}^2$ ,  
 $v$  — средняя скорость течения в  $\text{м/с}$ .

Расход воды является основной характеристикой стока, поскольку он основан на данных прямых наблюдений — измерениях скоростей течения и промерах глубин. Все остальные характеристики стока (объем стока, модуль стока и др.) рассчитываются с учетом расхода воды.

Чтобы рассчитать расход воды, нам нужны данные, пригодные для построения поперечного профиля реки. Как показано в теме 1, необходимо установить расстояния между промерными и скоростными вертикалями, провести соответствующие измерения глубин и скоростей течения. Далее необходимо построить в приемлемом масштабе поперечный профиль реки и внести данные в таблицу расчетов (столбцы 1— 4).

Таблица 4

## Вычисление расходов воды аналитическим способом

Промеры глубины					Вычисление площади, W		Вычисление расхода воды, Q		
№ вертикалей	Расстояние от постоянного начала, м	Глубина, м	Средняя глубина между промерными вертикалями, м	Расстояние между промерными вертикалями, м	Площадь водного сечения, м <sup>2</sup>		Средняя скорость, м/с		Частичный расход между скоростными вертикалями, м <sup>3</sup> /с
					между промерными вертикалями	между скоростными вертикалями	на скоростной вертикали	между скоростными вертикалями	
Урез левого берега	—	21,00	0,00						
			0,30	4,00	1,20	—	—	—	—
1.	—	25,00	0,60			5,75	6,95	—	0,258
			1,15	5,00				0,387	
2.	1	30,00	1,70						
			2,05	5,00	10,25	—			
3.	—	35,00	2,40						
			2,40	5,00	12,00	22,25	—	0,579	12,88
4.	2	40,00	2,40						
			2,32	5,00	11,60	—	0,771	—	—
5.	—	45,00	2,25						
			2,15	5,00	10,75	22,35	—	0,749	16,74
6.	3	50,00	2,05						
			2,00	5,00	10,00	—	0,727	—	—
7.	—	55,00	1,95						
			1,82	5,00	9,10	19,10	—	0,684	13,08
8.	4	60,00	1,70						
			1,62	5,00	8,10	—	0,642	—	—
9.	—	65,00	1,55						
			1,48	5,00	7,40	15,50	—	0,592	9,17
10.	5	70,00	1,42						
			1,48	5,00	7,40	—	0,541	—	—
11.	—	75,00	1,53						
			1,57	5,00	7,85	15,25	—	0,505	7,70
12.	6	80,00	1,61						
			1,58	5,00	7,90	—	0,469	—	—
13.	—	85,00	1,56						
			1,30	5,00	6,50	—	—	—	—
14.	—	90,00	1,05						
			0,52	3,00	1,56	15,96	—	0,313	5,00
Урез правого берега	—	93,00	0,00						
Σ					117	117			66,4

Порядок расчета выглядит следующим образом:

- рассчитывается средняя глубина между промерными вертикалями, записывается в столбец 5;
- рассчитывается расстояние между промерными вертикалями и записывается в столбец 6;
- рассчитывается площадь между соседними промерными вертикалями; записывается в столбец 7. Сумма всех площадей пред-

ставляет собой живое сечение реки, эту сумму можно подсчитать как между промерными, так и скоростными вертикалями.

г) определяются частичные расходы воды между соседними скоростными (или промерными) вертикалями по формуле 2.1., их сумма представляет собой общий расход воды, проходящей через данный створ. Следует учитывать, что скорость воды вблизи берега принимается как две трети скорости воды на ближайшей скоростной вертикали: 0,258 м/с составляют 2/3 от 0,387 м/с ( строки 4 и 6, столбцы 9 и 10).

Таким образом, расчет расходов воды аналитическим способом основан на определении живого сечения реки по поперечному профилю и реальном измерении скоростей воды в данном створе.

### **Тема 3. Расчеты обеспеченности и повторяемости гидрологических величин**

#### **Лекционный материал:**

#### **1. Обеспеченность и повторяемость гидрологических величин.**

Водность любой реки может быть оценена величиной годового стока — объемом воды, прошедшим через живое сечение за определенный отрезок времени, т. е. за один год. Колебания годового стока, как и других гидрологических величин, обусловлены достаточно большим количеством меняющихся факторов (климатических, метеорологических, антропогенных и др.) и подвержены существенным изменениям от года к году. Поэтому их часто изучают при помощи методов математической статистики и теории вероятностей. Многолетние изменения годового стока можно изучать по так называемым кривым повторяемости и обеспеченности среднегодовых расходов реки. Под  *$\frac{\text{число лет с определенным расходом}}{\text{общему периоду наблюдений}}$*  понимается отношение числа лет с определенным расходом, над числом лет с меньшим расходом. Для таких расчетов необходимы данные по расходам за значительный период (не менее 50 лет), которые должны разбиты на ряд интервалов. Расчет ведется табличным методом.

Предположим, что мы имеем данные расходов за 77 лет, минимальный расход составляет 650 м<sup>3</sup>/с, максимальный — 2550 м<sup>3</sup>/с ( по Т.А.Берниковой и А.Г.Демидовой, 1977). Разобьем расходы с интервалом в 200 м<sup>3</sup>/с и внесем имеющиеся данные в таблицу.

Таблица 5

**Расчет обеспеченности и повторяемости гидрологических величин**

Интервалы расходов, м <sup>3</sup> /с	Повторяемость (частота)		Обеспеченность	
	Число случаев (лет)	%	Число случаев (лет)	%
2599 – 2400	1	1,3	1	1,3
2399 – 2200	3	3,9	4	5,2
2199 – 2000	5	6,5	9	11,7
1999 – 1800	8	10,4	17	22,1
1799 – 1600	15	19,4	32	41,5
1599 – 1400	17	22,1	49	63,6
1399 – 1200	12	15,7	61	79,3
1199 – 1000	9	11,7	70	91,0
999 – 800	6	7,7	76	98,7
799 – 600	1	1,3	77	100
Сумма	77	100,0	—	—

Следовательно, величина  $\hat{P}(Q \geq q)$  показывает, насколько часто в ряду наблюдений встречается тот или иной интервал расходов воды: минимальный расход в 650 м<sup>3</sup>/с отмечен лишь в один год из 77 лет наблюдения — это и составляет 1,3%. Точно так же и максимальный расход также встретился только один раз — его повторяемость составила также 1,3%. Величина  $\hat{P}(Q \leq q)$  демонстрирует, насколько часто встречается изучаемая характеристика — среднегодовой расход — не ниже меньшей границы интересующего нас интервала, сколько лет обеспечивается значение расхода воды, не ниже заданного. Например, расход воды в интервале от 1199 до 1000 м<sup>3</sup>/с и более в ряду наблюдений отмечался 70 раз, это значение было обеспечено в 91% случаев.

След., чем ниже расход воды, тем больше вероятность его превышения (т. е. обеспеченность), и, наоборот, чем больше среднегодовой расход, тем меньше его реальная обеспеченность. Это имеет наглядную форму — при минимальном расходе воды в реке оказываются затопленными все отметки уровня, мини-

мальные расходы имеют практически 100%-ную обеспеченность и встречаются каждый год.

Расходы, средние для данной реки имеют максимальную повторяемость (частоту) и среднюю (близкую к 50%) обеспеченность; минимальные расходы имеют наименьшую повторяемость и максимальную обеспеченность; максимальные расходы воды имеют минимальную повторяемость и обеспеченность.

По эмпирическим данным могут быть построены кривые повторяемости и обеспеченности, где по оси ординат откладывают интервалы расходов, а по оси абсцисс — значения повторяемости и обеспеченности в % (рис. 1):

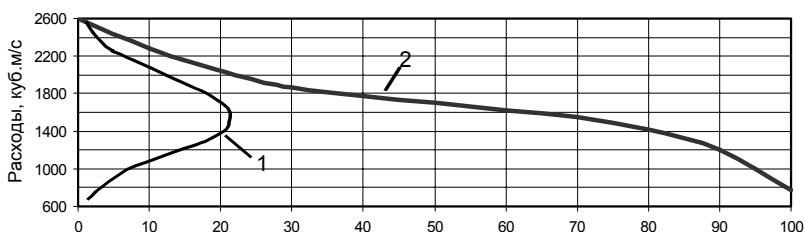


Рис. 1. Кривые повторяемости (1) и обеспеченности (2) среднегодовых расходов воды.

Знание вероятностей повторяемости и обеспеченности имеет важное практическое значение. При строительстве различных гидротехнических сооружений всегда возникает необходимость учета максимальных расходов воды — от этого зависит безопасность эксплуатации. При проектировании систем питьевого водоснабжения, наоборот, необходимо ориентироваться на минимальные расходы воды, но имеющие 100%-ную обеспеченность.

В практической деятельности чаще приходится иметь дело с непродолжительными рядами наблюдений, по которым трудно построить надежную кривую обеспеченности. В этом случае пользуются теоретическими кривыми обеспеченности, построенными на основе математических методов — анализа коэффициентов вариации, коэффициентов асимметрии и модульных коэффициентов. В таких расчетах 100%-ной обеспеченности соответствует не минимальный (как в нашем примере), а нулевой расход воды.

## Тема 4. Зависимости между уровнями и расходами воды в реке

### ЛЕКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ:

1. Движение воды. Гидрологическая характеристика рек.
2. Речной сток и его характеристики.

Уровень воды в любом водотоке подвержен колебаниям, связанным с изменениями водного режима в различные сезоны года. Между расходами и уровнями воды существуют зависимости, описываемые уравнениями гидравлики. Имея данные по расходам воды, измеренных при различных уровнях, можно установить зависимость для определенного створа и соответствующего сечения водотока. Такая зависимость выражается графически в виде кривой  $Q = Q(H)$  и называется *éðèâîé ðàñîðîâîââ áîâû*. По уровням  $H$ , полученных на водомерных постах, с помощью таких кривых определяют расходы воды  $Q$ , не измеряя их. Кривые расходов применяют при расчетах стока воды, при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений и т. д.

В зависимости от продолжительности периода, в течение которого сохраняется зависимость между  $H$  и  $Q$ , различают временные и многолетние кривые расходов. Ориентировочно можно считать, что срок действия первых ограничен двумя годами, а вторых — более длительным периодом.

Зависимость, в которой одному значению  $H$  соответствует единственное значение  $Q$ , называется однозначной и справедлива для постоянного свободного русла. Отсутствие такой связи между площадью водного сечения, расходами и уровнем воды свидетельствует о неустойчивости и деформациях русла — вследствие зарастаемости, ледового подпора и других факторов.

Основными данными, необходимыми для построения кривых расходов, служат многолетние данные, полученные в результате постоянных наблюдений на водомерных постах.

Таблица 6

**Исходные данные для построения кривых расходов  
(водомерный пост № 124)**

№	Дата		Уровень воды над нулём, м	Расход воды м <sup>3</sup> /с	Площадь водного сечения, м <sup>2</sup>	Скорость течения, м		Ширина реки, м	Глубина, м	
						Средняя	Наибольшая		Средняя	Наибольшая
1	07.02	лд	130	2,74	28,8	0,10	0,14	38,3	1,09	1,50
2	28.02	лд	138	2,73	28,1	0,10	0,15	38,6	1,14	1,68
3	06.04	лд	160	8,38	36,3	0,23	0,36	40,1	1,33	1,90
4	08.04	лд	174	13,1	41,4	0,32	0,46	41,0	1,45	2,04
5	10.04	лд	221	33,2	62,0	0,54	0,72	44,0	1,82	2,51
6	17.04	св	286	111	112	0,99	1,33	58,5	1,91	3,13
7	18.04	св	293	113	117	0,97	1,32	59,6	1,96	3,20
8	20.04	св	288	112	114	0,98	1,27	58,6	1,95	3,22
9	21.04	св	274	102	106	0,96	1,26	56,3	1,88	3,05
10	22.04	св	259	86,8	97,9	0,89	1,18	52,7	1,86	2,90
11	23.04	св	247	80,4	91,6	0,88	1,13	49,8	1,84	2,80
12	24.04	св	239	71,7	87,5	0,82	1,07	47,9	1,83	2,65
13	25.04	св	232	67,5	84,4	0,80	1,02	46,3	1,82	2,63
14	26.04	св	226	64,8	81,7	0,79	1,03	45,1	1,81	2,55
15	27.04	св	218	57,7	77,8	0,74	0,98	43,7	1,78	2,45
16	29.04	св	211	52,6	74,9	0,70	0,93	43,3	1,73	2,39
17	02.05	св	200	46,4	70,2	0,66	0,87	42,6	1,65	2,30
18	03.05	св.	194	41,9	67,6	0,62	0,84	42,3	1,60	2,22
19	05.05	св.	184	36,1	63,5	0,57	0,75	41,8	1,52	2,12
20	07.05	св.	173	29,0	58,9	0,49	0,69	40,9	1,44	2,02
21	09.05	св.	165	23,5	55,5	0,42	0,61	40,5	1,37	1,95
22	11.05	св	158	20,3	52,7	0,39	0,55	40,1	1,31	1,87
23	14.05	св.	152	17,4	50,6	0,34	0,50	39,5	1,28	1,82
24	02.07	св.	126	5,78	39,6	0,15	0,33	38,0	1,04	1,53
25	25.08	св.	123	4,87	38,3	0,13	0,30	37,8	1,01	1,40
26	27.08	св.	122	4,80	37,7	0,13	0,28	37,8	1,00	1,36
27	16.09	св.	138	11,3	44,4	0,25	0,56	38,5	1,15	1,66
28	15.10	св.	136	9,32	43,8	0,21	0,39	38,4	1,14	1,64
29	02.12	лд.	161	10,6	46,4	0,23	0,34	40,2	1,33	1,84
30	25.12	лд.	168	10,5	46,8	0,22	0,34	40,5	1,47	1,93

*Примечание:* лд. — ледостав, св. — свободное русло.

Кривую расходов  $Q = Q(H)$  строят в системе прямоугольных координат совместно с кривыми площадей водного сечения и средних скоростей (рис. 2). По оси ординат откладывают уровни  $H$ , а по оси абсцисс — расходы воды  $Q$ , площади водного сечения  $w$  и средние скорости  $v$  на трех различных шкалах, чтобы избежать перекрытия кривых на графике. По точкам выстраивают плавные кривые, чтобы они возможно более точно осредняли данные измерений, а разброс от кривой был минимальным (рис. 2).

Если при помощи кривой возникает необходимость определения многих расходов, то целесообразно составить расчетную таблицу: по рисунку 2 с кривой снимают данные расходов через определенный интервал  $H$  (например, через 10 см), а промежуточные значения находят при помощи прямолинейной интерполяции.

*Таблица 7*

**Расчетная таблица к кривой расходов**

H, см	Расходы (м <sup>3</sup> /сек)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
120	4	4,3	4,7	5,0	5,4	5,7	6,0	6,4	6,7	7,1
130	7,4	7,9	8,3	8,8	9,2	9,7	10,2	10,6	11,1	11,5
140	12	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5
150	17	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5
160	22	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0	25,5	26,0	26,5
170	27	27,5	28,0	28,5	29,0	29,5	30,0	30,5	31,0	31,5
180	33	33,6	34,2	34,8	35,4	36,0	36,6	37,2	37,8	38,4
190	39	39,6	40,2	40,8	41,4	42,0	42,6	43,2	43,8	44,4
200	45	45,6	46,2	46,8	47,4	48,0	48,6	49,2	49,8	50,4
210	52	52,7	53,4	54,1	54,8	55,5	56,2	56,9	57,6	58,3
220	59,5	60,2	61,0	61,8	62,5	63,2	64,0	64,8	65,5	66,25
230	67	67,8	68,5	69,2	70,0	70,8	71,5	72,2	73,0	73,8
240	74,5	75,2	76,0	76,8	77,5	78,2	79,0	79,8	80,5	81,2
250	82	82,8	83,5	84,2	85,0	85,8	86,5	87,2	88,0	88,8
260	89,5	90,2	91,0	91,8	92,5	93,2	94,0	94,8	95,5	96,2
270	97	97,8	98,5	99,2	100,0	100,8	101,5	102,2	103,0	103,8
280	106	106,9	107,8	108,7	109,6	110,5	111,4	112,3	113,2	114,1
290	115	115,9	116,8	117,7	118,6	119,5	120,4	121,3	122,2	123,1



Следует учитывать, что из-за стеснения живого сечения — вследствие зарастания русла или льдообразования — пропускная способность русла уменьшается, что отражается на кривой расходов — измеренные расходы и средние скорости смещаются влево от кривой.

## Тема 5. Расчеты испарения с водной поверхности и с суши

### ЛЕКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ:

1. Водный баланс.
2. Испарение и факторы, его определяющие.

Расчеты испарения имеют важное значение в связи с оценкой и динамикой водного баланса и водных ресурсов любого государства и региона. Они используются при проектировании и эксплуатации водохранилищ, расчетов запаса воды в почвах, эксплуатации мелиоративных систем и т. д.

#### Испарение с водной поверхности.

На испарение с водной поверхности оказывают влияние такие факторы, как площадь водоема, его глубина и защищенность. Слой испаряющейся влаги с больших водоемов значительно больше, чем с малых — вследствие увеличения скорости ветра и высоты волн. Водоемы, защищенные по берегам строениями, горами, высокой растительностью, испаряют влаги меньше, чем открытые, и т. д.

Прямые наблюдения над испарением с водной поверхности ведут с помощью бассейнов-эталонов площадью 20 м<sup>2</sup> и глубиной 2 м; испарителей особой конструкции ГГИ-3000 и ГГИ-3000М.

Применительно к расчетам испарения все водоемы делятся на три группы:

- а) *ì àëÙá* — площадью до 5 км<sup>2</sup> округлой или квадратной формы, имеющие среднюю длину разгона воздушного потока над водной поверхностью до 3 км;
- б) *ñäâáí èâ*, чьи показатели составляют соответственно от 5 до 40 км<sup>2</sup> и до 10 км;
- в) *áíëüøèá* — с площадью более 40 км<sup>2</sup> и средней длиной разгона свыше 10 км.

Показатели испарительных бассейнов соответствуют испарению с малых водохранилищ и прудов площадью до 5 км<sup>2</sup>, испарение с водоемов больших размеров возрастает на 15 — 20 %.

В обычных расчетах требуется определить среднемноголетнее испарение и распределить его по месяцам внутри года.

Порядок расчета следующий:

1. Среднемноголетнее испарение (норма испарения) с малых водоемов, расположенных в равнинных условиях, определяют по формуле:

$$\dot{A}_n = \dot{A}_{20} \cdot k_n \cdot k_3 \cdot k_\Omega \quad (5.1.)$$

где  $E_{20}$  — среднемноголетнее испарение с эталонного бассейна площадью 20 м<sup>2</sup>, определяется по карте изолиний испарения, рассчитанной для таких бассейнов (приложение 6);

*Где  $E_{20}$  — среднемноголетнее испарение с эталонного бассейна площадью 20 м<sup>2</sup>, определяется по карте изолиний испарения, рассчитанной для таких бассейнов (приложение 6);*

$K_n$  — поправочный коэффициент на глубину водоема, зависит от природной зоны, в которой расположен водоем, и его средней глубины (таблица 8).

Таблица 8

### Выбор поправочного коэффициента на глубину водоема

Природная зона	Средняя глубина водоёма, м					
	2	5	10	15	20	25
Тундровая и лесная	1,00	0,99	0,97	0,95	0,94	0,92
Лесостепная	1,00	0,98	0,96	0,95	0,94	0,92
Степная	1,00	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93
Полупустынная	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97
Пустынная	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

*Примечание:* при необходимости проводится интерполяция.

Поправочный коэффициент  $k_3$  (защищенности) определяют в зависимости от отношения средней высоты препятствий (в метрах)  $h_3$  к средней длине разгона воздушного потока  $D$  (в метрах):

$h_3 / D$	0,01	0,03	0,05	0,07	1,00	0,20	0,30	0,40	0,50
$K_3$	0,96	0,89	0,84	0,80	0,76	0,70	0,64	0,57	0,51

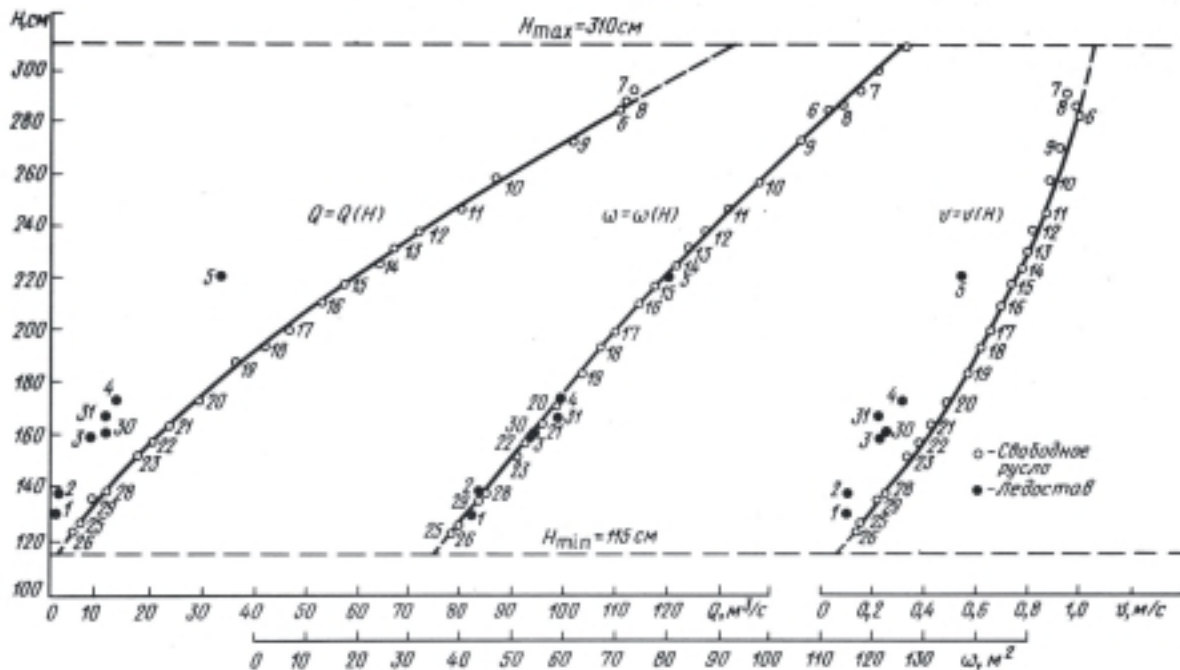


Рис. 2. Зависимость расходов  $Q$ , площадей живого сечения  $\omega$  и средних скоростей  $v$  от уровня воды  $H$ .

Поправочный коэффициент на площадь водоема  $k_3$  для тундровой, лесной и лесостепной зон составляет:

Площадь водоема, км <sup>2</sup>	0,01	0,05	0,10	0,50	1,00	2,00	5,00
$k_3$	1,03	1,03	1,11	1,18	1,21	1,23	1,26

Для остальных зон этот коэффициент принимается за 1.

Внутригодовое распределение испарения по месяцам вычисляют с помощью таблицы 9, зоны в этой таблице выбирают по схеме районирования ( приложение 7).

*Таблица 9*

**Внутригодовое распределение испарения  
с поверхности малых водоемов  
(в %% от годовой суммы за безледоставный период)**

Зоны	Месяц											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
I	—	—	—	—	20	45	30	5	—	—	—	—
II	—	—	—	—	7	28	33	23	9	—	—	—
III	—	—	—	—	16	25	21	20	14	4	—	—
IV	—	—	—	3	16	22	21	19	12	6	1	—
V	—	—	—	6	14	20	21	19	12	6	2	—
VI	—	—	3	6	13	17	20	19	13	7	2	—

построенной на основе уравнений водного баланса для суши по разности среднесуточных годовых сумм атмосферных осадков и среднесуточного годового стока рек (приложение 6). Для данного региона расчетную величину находят путем интерполяции между двумя соседними изолиниями.

Погрешность снимаемых с такой карты значений для равнинной территории Российской Федерации составляет 15%, но возрастает до 20% в горных местностях и районах Крайнего Севера.

## Тема 6. Характеристики водохранилища

### ЛЕКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ:

1. Регулирование стока.
2. Характеристики водохранилищ. Батиграфические и объемные кривые.

К основным характеристикам водохранилища относят:

а)  $V_{\text{нпу}}$  водохранилища  $V_{\text{нпу}}$  — он соответствует отметке наивысшего проектного уровня (НПУ) в верхнем бьефе, который должен поддерживаться при нормальных условиях эксплуатации гидроузла. Он складывается из двух составляющих: мертвого и полезного объемов;

б)  $V_{\text{умо}}$  — постоянная часть полного объема водохранилища, которая в нормальных условиях эксплуатации не срабатывается и в регулировании стока не участвует. Он представляет как бы неприкосновенный запас, который может быть израсходован лишь в чрезвычайных условиях (например, при постоянной засухе или необходимости срочного обеспечения водоснабжения). Мертвый объем находят расчетным путем с учетом заиливания водохранилища различными наносами, санитарно-технических и гидробиологических требований, обеспечения приемлемого качества воды, обеспечения условий для судоходства, рыбного хозяйства, гидроэнергетики, мелиорации и др.

в)  $V_{\text{плз}}$  водохранилища  $V_{\text{плз}}$  — основная рабочая часть объема водохранилища, предназначенная для непосредственного регулирования стока. Полезный объем зависит от назначения водохранилища, вида регулирования стока. Опре-

деляется на основе водохозяйственного и технико-экономического расчетов.

При эксплуатации водохранилищ заблаговременно подготавливают ряд характеристик, необходимых для водохозяйственных расчетов. К ним относятся зависимости площади водной поверхности  $\Omega$  и объема воды  $V$  от уровня воды  $H$  или глубин  $h$ . Кривые таких зависимостей называют батиграфическими кривыми (рис. 3).

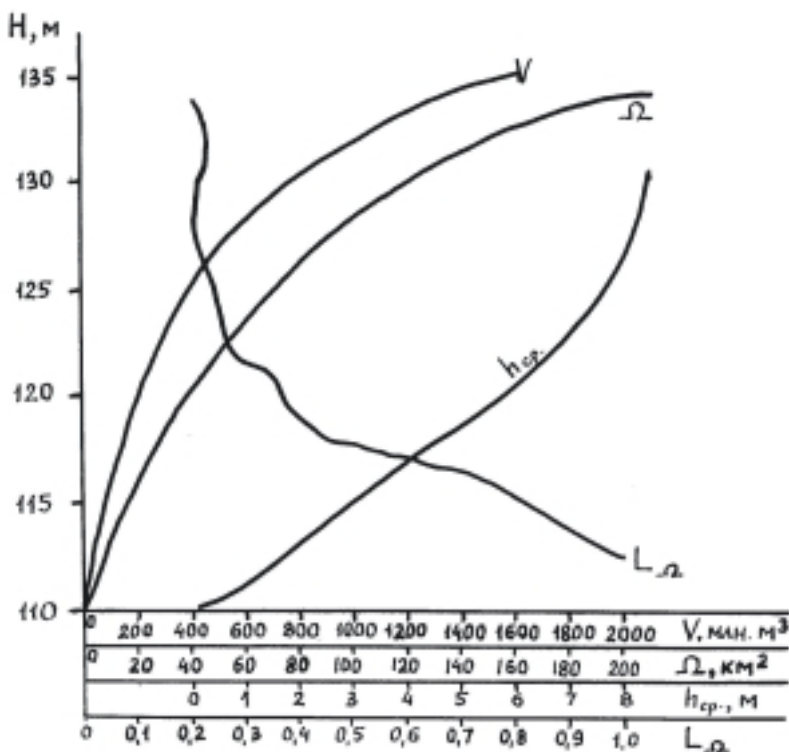


Рис. 3. Батиграфические кривые.

Наряду с батиграфическими, строят также объемные кривые — зависимости наполнения, площади водной поверхности, средней глубины водохранилища от объема воды в нем (рис. 4).

Исходным материалом для построения батиграфических и объемных кривых являются данные топографических измерений,

показанные на крупномасштабных картах. Батиграфические и объемные кривые строят в системе прямоугольных координат в определенном масштабе.

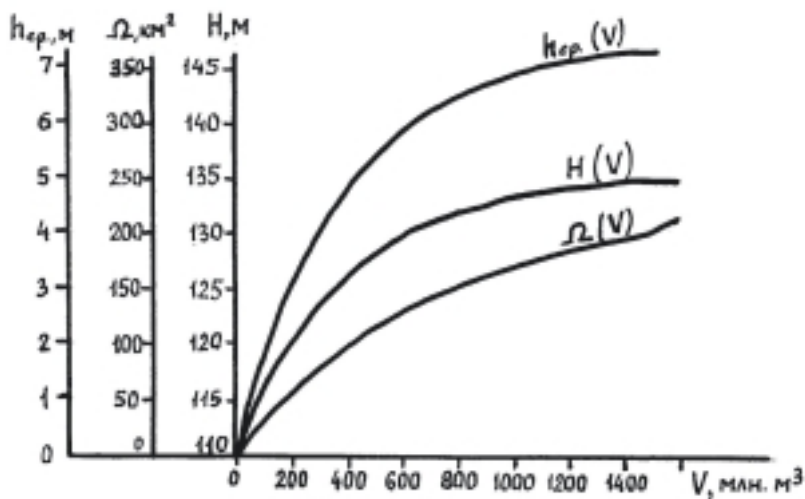


Рис. 4. Объемные кривые.

Данные для построения представлены в таблице 10.

В таблице 10 объем воды в водохранилище определен путем последовательного суммирования частичных объемов, заключенных между смежными горизонталями. Объем первого придонного слоя вычисляют по формуле усеченного параболоида:

$$\Delta V = 0,667 \cdot \Omega_1 \cdot \Delta H_{01} \quad (6.1.)$$

Объем воды, соответствующий какому-либо уровню  $H$ , получают суммированием частичных объемов, расположенных ниже этого уровня.

Средняя глубина водохранилища рассчитывается по формуле:

$$h_{ср.} = V_n / \Omega_n \quad (6.2.)$$

Критерий площади литорали (мелководной зоны) рассчитывается по формуле:

$$L_{\Omega} = \Omega_L / \Omega_n \quad (6.3.),$$

причем к мелководной зоне водохранилища относят его прибрежную часть с глубиной не более 2 м.

Очевидно, что с повышением уровня воды критерий литорали уменьшается.

Таблица 10

**Исходные данные для расчета характеристик водохранилища**

Уровни воды Н, м	Площадь водной поверхности, км <sup>2</sup>		Разность уровней $\Delta H$ , м	Объём, млн. м <sup>3</sup>		Средняя глубина, $h_{ср.}$ , м	Литораль	
	$\Omega_H$	$\Omega_{ср.}$		$\Delta V$	V		Площадь, $\Omega_L$ , км <sup>2</sup>	Критерий, $L_\Omega$
110	0				0			
		1	2	2				
112	2				2	1	2	1,0
		5	2	10				
114	8				12	1,5	6	0,75
		11	2	22				
116	14				34	2,4	6	0,43
		18	2	36				
118	22				70	3,2	8	0,36
		28	2	56				
120	34				126	3,7	12	0,35
		40	2	80				
122	46				206	4,5	12	0,26
		54	2	108				
124	62				314	5,1	16	0,26
		71	2	142				
126	80				456	5,7	18	0,22
		90	2	180				
128	100				636	6,36	20	0,20
		113	2	226				
130	126				862	6,8	26	0,21
		143	2	286				
132	160				1148	7,2	34	0,21
		181	2	362				
134	202				1510	7,5	42	0,20

При построении кривых масштаб принимается таким, чтобы кривые не пересекались (рис. 3 и 4). Ценность такого построения заключается в том, что по какому-то одному показателю (например, по отметке глубины Н над уровнем моря) можно определить самые разнообразные характеристики водохранилища, не прибегая к непосредственным измерениям.



## Тема 7. Определение мертвого объема водохранилища

### ЛЕКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ:

#### 1. Характеристики водохранилищ.

Любое водохранилище вносит изменения в гидравлический режим водотока: уменьшаются скорости течения и уклоны свободной поверхности воды, растет глубина потока, уменьшается транспортирующая величина потока и т.д. Наносы, которые увлекает за собой поток по дну или во взвешенном состоянии, постепенно осаждаются и откладываются в чаше водохранилища, лишь незначительная часть транзитом проходит в нижний бьеф гидроузла. Процесс заполнения водохранилища наносами называют заилением, он достаточно длителен и зависит от многих факторов: размеров и конфигурации водохранилища, устойчивости берегов, режима стока, состава наносов, режима сработки и колебаний уровня водохранилища и др. Продолжительность полного заиления до отметки НПУ носит название «срока заиления». Время заиляемости может быть определено по формуле:

$$t_y = V_{\text{нпу}} / V_n \quad (7.1.),$$

где  $V_{\text{нпу}}$  — полный объем водохранилища при НПУ,  
 $V_n$  — средний многолетний объем наносов, поступающих в водохранилище, м<sup>3</sup> в год.

Значение срока заиляемости принимается для крупных водохранилищ в 200 лет, а для малых водохранилищ и прудов — 50 лет.

При расчетах заиления употребляется также термин «срок службы водохранилища» — время, в течение которого наносами заполняется мертвый объем водохранилища, т. е. срок в течение которого возможно регулирование санитарно-гидробиологического режима с помощью мертвого объема:

$$t_{\text{сл.}} = V_{\text{умо}} / V_n \quad (7.2.),$$

где  $V_{\text{умо}}$  — мертвый объем,  
 $V_n$  — аналогично формуле 7.1.

Исходными данными для расчета мертвого объема являются:

а) батиграфические кривые (рис. 3);

б) средний многолетний объем годового стока  $W_0 = 1100 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ ;

в) среднемноголетняя мутность воды во входном створе водохранилища  $\rho_0 = 1200 \text{ г / м}^3$ ;

г) транзитная часть наносов, сбрасываемая из водохранилища в нижний бьеф,  $\delta = 0,3$ ;

д) количество донных наносов  $m = 10\%$  от взвешенных;

е) объемная масса донных отложений  $\gamma_{\text{отл.}} = 0,8 \text{ т / м}^3$ .

Необходимо рассчитать мертвый объем и соответствующий ему уровень воды  $H_{\text{м.о.}}$ , исходя из условий выполнения санитарно-технических требований и обеспечения необходимого качества воды; а также допустимый срок службы водохранилища.

Порядок расчета следующий:

1. По санитарно-техническим условиям средняя глубина воды в водохранилище при минимальном наполнении должна быть не менее 2,5 м. По батиграфической кривой  $h_{\text{сп.}}(H)$  устанавливаем, что средней глубине в 2,5 м соответствует минимальный уровень  $H_{\text{min}} = 116 \text{ м}$ , при котором минимальный объем водохранилища должен быть равен  $V_{\text{min.}} = 40 \text{ млн. м}^3$ .

2. Принято, что удовлетворительное качество воды в водохранилище будет обеспечиваться при условии, что при уровне мертвого объема критерий литорали  $L_{\Omega}$  не будет превышать 0,35. По кривой  $L_{\Omega}(H)$  на рис. 3 можно установить, что при уровне воды в 116 м, определенном исходя из санитарно-технических требований,  $L_{\Omega} = 0,43$ , т. е. требуемое условие не выполняется — площадь мелководья гораздо выше. Поэтому  $H_{\text{min.}} = 116,0 \text{ м}$  никак не может быть принят в качестве мертвого объема. Возвращаемся к рис. 3, при  $L_{\Omega} = 0,35$  уровень мертвого объема  $H_{\text{умо}}$  может быть предварительно принят в 119,5 м. Такому уровню соответствует объем водохранилища в 120 млн.  $\text{м}^3$ .

3. Проверяем найденный объем на соответствие условий заиления наносами. Время заиления мертвого объема определяем по формуле 7.2., а среднегодовой объем отложений наносов в водохранилище по формуле:

$$V_{\text{H.}} = \frac{10^{-6} \cdot \rho_0 \cdot W_0}{\gamma_{\text{отл.}}} \cdot (1 + m - \delta) \quad (7.3.)$$

Подставляя в формулу имеющиеся данные, получим, что объем наносов  $V_n$  равен  $1,32 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ , а время заиления мертвого объема в 120 млн.  $\text{м}^3$  составит 91 год.

Следовательно, полученный срок заиления мертвого объема водохранилища, удовлетворяющий и санитарно-техническим требованиям, и необходимому качеству воды, значительно превышает допустимый срок заиления для малых водохранилищ (50 лет).

Поэтому можно принять значения:

$$H_{\text{м.о.}} = 119,5 \text{ м}, V_{\text{м.о.}} = 120 \text{ млн. м}^3.$$

## **Тема 8. Расчеты водохранилища сезонного регулирования таблично-цифровым балансовым методом**

### **Лекционный материал:**

1. Характеристики водохранилища.
2. Водохозяйственный баланс.
3. Расчеты потерь воды из водохранилища.

Методы водохозяйственных расчетов водохранилищ подразделяются на балансовые (основанные на использовании длительных наблюдений за стоком) и обобщенные (опирающиеся на математическую статистику и теорию вероятностей). Балансовый метод чаще применяется к расчету водохранилищ сезонного регулирования стока. При этом полезный объем водохранилища и другие его рабочие параметры определяют путем последовательного сопоставления объемов расчетного стока и плановой отдачи за определенные интервалы времени (месяц, декаду и т. д.). Расчет выполняют в два этапа: сначала находят параметры регулирования стока без учета потерь воды из водохранилища, а затем уточняют режим регулирования с учетом потерь на фильтрацию, испарение и т. д.

В практике водохозяйственного проектирования балансовые расчеты таблично - цифровым способом широко распространены, исходными данными для них являются батиграфические кривые, внутригодовое распределение стока расчетной обеспеченности и плановая полезная отдача за месяц и за год.

Судя по данным таблицы 11, можно прийти к выводу о необходимости сезонного регулирования стока, поскольку в течение 8 месяцев полезная отдача превышает расчетный сток. Регулирование возможно, т. к. суммарный годовой сток превосходит годовую полезную отдачу — то есть потребность всех отраслей в водных ресурсах.

За начало водохозяйственного года принимают апрель — месяц, с которого начинается наиболее многоводный период года (половодье).

Таблица 11

**Данные для балансового расчета водохранилища  
сезонного регулирования стока**

Месяц	Расчётные характеристики		
	Сток $W_{p,80\%}$	Плановая $U_{пл}$ млн. м <sup>3</sup>	Сток минус отдача (+ - превышение, - - дефицит)
01	26	53	-27
02	26	53	-27
03	37	53	-16
04	263	61	+202
05	171	61	+110
06	53	61	- 8
07	39	61	-22
08	47	61	-14
09	100	61	+3985.65 26.93 m36039.876

Таблица 12

## Расчёт водохранилища таблично-цифровым способом

Исходные данные:

$$V_{\text{умо}} = 120 \text{ млн. м}^3; V_{\text{плз}} = 98 \text{ млн. м}^3; V_{\text{нпу}} = 218 \text{ млн. м}^3;$$

$$\text{с учётом потерь } V'_{\text{плз}} = 111 \text{ млн. м}^3; V'_{\text{нпу}} = 231 \text{ млн. м}^3.$$

Месяц	Расчётный сток	Плановая отдача	Наполнение без учёта потерь						Расчёт потерь				Отдача с учётом потерь, V	Наполнение с учётом потерь			
			Сток минус отдача		1-й вариант		2-й вариант		Средний об. V <sub>ср</sub> (2й вариант)	Площадь вод. поверхности	Объём суммарных потерь, V	Сток минус отдача и потери		2-й вариант			
			+ ΔV <sub>отд</sub>	- ΔV <sub>л</sub>	Конечное V <sub>к</sub>	Сброс V <sub>сб</sub>	Конечное V <sub>к</sub>	Сброс V <sub>сб</sub>				+ ΔV <sub>отд</sub>		- ΔV <sub>л</sub>	Конечное V <sub>к</sub>	Сброс V <sub>сб</sub>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
04	263	61	202		120	104	120	202	120	35	3,0	64	199		120	199	
					218	110	120								120		
05	171	61	110					59	146	39	5,0	66	105			18	
			+ ΔV = 312		218		171						+ ΔV = 304		207		
06	53	61		8					167	41	6,0	67		14			
					210		163								193		
07	39	61		22					152	40	6,0	67		28			
					188		141								165		
08	47	61		14					134	36	5,0	66		19			
				- ΔV = 44										- ΔV = 61			

Продолжение табл. 12

					174		127								146	
09	100	61	39						146	39	3,0	64	36			
					213	47	166								182	
10	105	53	52						192	45	3,0	56	49			
			$+\Delta V$ = 91		218		218						$+\Delta V$ = 85		231	
11	39	53		14					211	48	3,0	56		17		
					204		204								214	
12	39	53		14					197	46	3,0	56		17		
					190		190								214	
01	26	53		27					186	43	3,0	56		30		
					163		163								197	
02	26	53		27					150	40	2,0	55		29		
					136		136								138	
03	37	53		16					128	36	2,0	55		18		
				$-\Delta V$ = 98										$-\Delta V$ = 111		
					120		120								120	

## Тема 9. Оценка требований различных отраслей к водным ресурсам и регулированию стока

Водохранилища отличаются от других естественных и искусственных водоемов специфическим и сложными гидрологическими и экологическими условиями, которые зависят от характера их использования различными отраслями народного хозяйства. Эти отрасли по-разному заинтересованы в том или ином режиме эксплуатации и выдвигают определенные требования к уровням и расходам воды, условиям их регулирования. Сводные данные о таких потребностях отраслей приводятся в таблицах 13 и 14.

Таблица 13

**Требования отдельных отраслей к режиму уровней  
водохранилищ (по Исаеву, Карповой, 1989)**

Компоненты водохозяйственного комплекса		Элементы уровня режима					
		достижение отметок НПУ каждый год	уменьшение глубины сработки зимой сработки уровня	после весенне-летнего нереста рыб	Форсировка уровня над НПУ		
					в межнавигационный период	в период половодья	при прохождении паводков
Энергетика	—	+	+ *	— *	+	+	+
Рыбное хозяйство	Водохранилище	+ *	+	+	—	—	—
	Нижний бьеф	0 *	+	0	—	—	0
Водный транспорт	Водохранилище	+	+	—	—	+	0
	Нижний бьеф	+	+	+ *	—	+	+
Лесосплав	Водохранилище	+	+	—	—	0	0
	Нижний бьеф	+	+	+ *	—	+	+
Ирригация	Водохранилище	+	+	—	—	+	+
	Нижний бьеф	+	+	0 *	—	+	+
Водоснабжение	Водохранилище	+	+	—	—	+	—
	Нижний бьеф	+	—	0 *	+	+	+
Сельскохозяйственные земли	Водохранилище	0 *	0	0	0	—	—
	Нижний бьеф	0 *	+	—	—	— *	+

Условные обозначения:

«+» — отрасль заинтересована в указанном режиме;

- «—» — отрасль не заинтересована в указанном режиме;
- «0» — указанный режим не имеет значения для отрасли;
- \* — указанное отношение изменяется в зависимости от района расположения водохранилища, состава компонентов водохозяйственного комплекса — потребителей и пользователей, водности года.

Колебания уровня воды в водохранилищах определяются количеством поступающей воды, использованием воды на хозяйственные нужды, режимом работы гидротехнических сооружений и др. Всем крупным водохранилищам свойственны колебания уровня, вызванные ветровыми нагрузками — сгонно-нагонные явления.

Таблица 14

**Заинтересованность отдельных отраслей в расходах воды и уровнях водохранилищ (по Исаеву, Карповой, 1989)**

Отрасли народного хозяйства		Элементы режимов расходов и уровней				
		Изменение расходов и уровней воды		Значительное повышение расходов и уровней в зимний период	Рыбохозяйственные попуски весной	Равномерные попуски в летне-осенний период
		За сутки	За неделю			
Энергетика		+	+	+	-	-
Рыбное хозяйство	Водоохранилище	0	0 *	-	-	+
	Нижний бьеф	-	-	-	+	+
Водный транспорт и лесосплав	Водоохранилище	0	0	-	-	-
	Нижний бьеф	-	-	-	-	+
Ирригация	Водоохранилище	0	0	0	-	0
	Нижний бьеф	0 *	-	0 *	-	0
Использование пойменных лугов	Водоохранилище	0	0	0	0	0
	Нижний бьеф	0	0	-	+	+
Водоснабжение	Водоохранилище	0	0	0	0	0
	Нижний бьеф	0 *	0	0 *	-	+

Условные обозначения — те же, что в таблице 13.



## Тема 10. Экологические нормативы для водных объектов

### ЛЕКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ:

1. Качество природных вод.
2. Экологическое нормирование для водных объектов.

Многофункциональное использование водных ресурсов определяет необходимость разработки отдельных критериев качества воды для различных отраслей народного хозяйства. Пригодность состава и свойств поверхностных и подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения, культурно-бытовых нужд населения и рыбохозяйственных целей определяется их соответствием требованиям и нормативам. В Российской Федерации согласно «Основам водного законодательства» различают две категории водопользования. К первой относят использование водного объекта в качестве источника централизованного или местного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для снабжения предприятий пищевой промышленности. Ко второй — использование водных объектов для купания, спорта, отдыха населения, а также для иного использования водных объектов в черте населенных пунктов.

Состав и свойства водных объектов должны соответствовать требованиям водоохранного законодательства в створе, расположенном:

- а) на водотоках — на расстоянии в 1 км выше ближайших по течению пунктов водопользования, которыми могут быть водозабор для хозяйственно-питьевого назначения, территория населенного пункта, место организованного отдыха и купания;
- б) на непроточных водоемах и водохранилищах — на расстоянии в 1 км в обе стороны от пункта водопользования.

### 10.1. ХОЗЯЙСТВЕННО - ПИТЬЕВОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Приоритетным направлением является *δῆς συεῖν δᾶσῆς ἰί - ἰ' ἐδὲ ἄᾶἰ ἄ ἄἰ ἰἰ ἄᾶᾶἰ ἔᾶ*. Это означает, что промышленное, сельскохозяйственное, рекреационное и другие направления водопользования не должны препятствовать удовлетворению первоочередной потребности населения в питьевой воде. С целью контроля за качеством питьевой воды на территории Российской Федера-

ции с 1 июля 1997 г. введены в действие «Санитарные правила и нормы «Питьевая вода и водоснабжение населенных мест» (СанПиН 2.1.4.559 — 96), основанные на рекомендациях Всемирной организации здравоохранения. Кроме того, разработан проект Федерального закона «О питьевой воде», который устанавливает государственные гарантии по обеспечению населения высококачественной водой. В Законе особо подчеркивается, что «обеспечение питьевой водой требуемого качества и в количестве, необходимом для удовлетворения жизненных потребностей, является неотъемлемым правом каждого гражданина».

Питьевая вода при любом типе вод источника, различных способах очистки, обработки и подготовки, конструктивных и эксплуатационных особенностях водопроводной сети должна обязательно отвечать ряду гигиенических требований:

- быть безопасной в эпидемическом и паразитарном отношении;
- безвредной по химическому составу;
- иметь благоприятные органолептические свойства (вкус, прозрачность, отсутствие неприятных запахов и т. д.).

Качество воды, получаемой потребителями, должно соответствовать нормативным требованиям, в число которых включены микробиологические, токсикологические, органолептические показатели и уровни радиоактивного загрязнения.

Общие требования к составу природных вод представлены в табл. 15.

В ней к I классу отнесена чистая вода для питьевых и технических нужд, ко II классу — умеренно загрязненная вода для водопоя сельскохозяйственных животных, к III — загрязненная вода, пригодная только для промышленных целей, к IV — вода, пригодная к использованию только после обязательной очистки.

Таблица 15

### Общая классификация воды по качеству

Основные показатели	Классы						
	I	I - II	II	II - III	III	III-IV	IV
Содержание O <sub>2</sub> , мг/л (при 20°С и 750 мм рт. столба)	8,45 – 8,84	7,50 – 8,45	6,20 – 7,50	4,40 – 6,20	2,20 – 4,40	0,90 – 2,20	<2,20
БПК (поглощение O <sub>2</sub> при 20°С), мг/л	0 – 0,3	0,3 – 1	1,1 – 2,2	2,2 – 3,8	3,8 – 7,0	7,0 – 12	>12
Летняя глубина видимости, м	5 м	5 – 3 м	1 – 3 м	0,5 – 1 м	0,5 м	—	—
Аммонийные ионы (NH <sub>4</sub> ), мг/л	< 1		< 3		< 10		< 10
Нитратные ионы (NO <sub>3</sub> ), мг/л	< 13		< 30		< 40		> 40

Более подробно разработаны требования к качеству воды, пригодной для хозяйственно-питьевого назначения (табл. 16):

*Таблица 16*

**Показатели качества воды  
централизованного хозяйственно-питьевого назначения  
в зависимости от класса источника (ГОСТ 2761-84)**

Показатели	Класс подземных источников			Класс поверхностных источников		
	1	2	3	1	2	3
Мутность, мг / л, не более	1,5	1,5	10	20	1500	10000
Цветность, град., не более	20	20	50	35	120	200
pH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Сухой остаток, мг / л, не более	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Хлориды, мг / л, не более	350	350	350	350	350	350
Сульфаты, мг / л, не более	500	500	500	500	500	500
Общая жёсткость, мг- экв / л, не более	7	7	7	7	7	7
Железо, мг/л, не более	0,3	10	20	1	3	5
Марганец, мг / л, не более	0,1	1	2	0,1	1	2
Сероводород, мг / л, не более	Отсутствие	3	10	нет	нет	нет
Фтор, мг / л, не более	1,5 -0,7	1,5 -0,7	5	1,5 -0,7	1,5 -0,7	5
Фитопланктон, мг / л, не более	нет	нет	нет	1	5	50
Окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л, не более	2	5	15	7	15	20
Коли-индекс, не более	3	100	1000	1000	10000	50000
Класс водоисточника определяется организацией, разрабатывающей проект водоснабжения.						

Принято считать, что соблюдение предельно допустимых концентраций вредных веществ в воде обеспечивает безопасность населения и создает благоприятные условия для санитарно-бытового использования. ПДК являются также критерием эффективности различных мероприятий, направленных на охрану водных объектов от загрязнения.

Таблица 17

**Нормативы качества питьевой воды  
централизованного водоснабжения (СанПиН 2.1.4.559-96)**

Показатели	ПДК, ПДУ, мг / л	Показатели	ПДК, ПДУ, мг / л
<b>Обобщённые показатели</b>		<b>Неорганические вещества</b>	
Водородный показатель pH	6 –9	Алюминий	0,5
Сухой остаток	1000	Барий	0,1
Общая жёсткость, мг-экв / л	7 (10)*	Бериллий	0,0002
Перманганатная окисляемость	5	Бор	0,5
Нефтепродукты (общая сумма)	0,1	Железо	0,3(1,0)
ПАВ(поверхностно-активные вещества)	0,5	Кадмий	0,001
		Медь	1,0
Фенольный индекс	0,25	Марганец	0,1(0,5)
		Молибден	0,25
<b>Органические вещества</b>		Мышьяк	0,05
γ-ГХЦГ (линдан)	0,002	Никель	0,1
ДДТ (сумма изомеров)	0,002	Нитраты	45,0
2,4 –Д(2,4-дихлорфеноуксусная кислота)	0,03	Ртуть	0,0005
		Свинец	0,03
		Селен	0,01
<b>Радиоактивные вещества</b>		Стронций	0,07
Общая α –радиоактивность, Бк / л	0,1	Сульфаты	500
		Фториды	1,5 + 1,2
Общая β –радиоактивность, Бк / л	1,0	Хлориды	350
		Хром	0,05 (0,1)
		Цианиды	0,035
		Цинк	5,0

*Примечание:* \* — величины, указанные в скобках, могут быть установлены Госсанэпиднадзором для конкретных систем водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки и технологии водоподготовки. Данное примечание относится и к таблицам 18 и 19.



Во многих регионах России население часто использует талую снеговую воду. Существует мнение, что снег при таянии образует чистую воду, близкую к дистиллированной. Однако твердые атмосферные осадки могут представлять определенную опасность из-за повышенного содержания тяжелых металлов и канцерогенных полициклических ароматических углеводородов. Качество снеговых вод зависит также от концентрации в них сульфатов и нитратов, определяющих кислотность.

В.Ф.Протасов (2000) приводит данные химического анализа талой снеговой воды, взятой в лесопарковой зоне Подмосковья (снег визуально выглядел абсолютно чистым):

*Таблица 21*

**Некоторые показатели талой воды в сравнении с ПДУ для питьевой воды**

Показатели	ПДУ или ПДК	Содержание в талой воде
Водородный показатель pH	6,5	6,4 -7,2
Медь, мг / л	0,1	0,002 -0,009
Цинк, мг / л	5,0	0,023 -0,140
Свинец, мг / л	0,03	0,005 -0,010
Кадмий, мг / л	0,001	0,0001 -0,0003
Никель, мг / л	0,1	0,001 -0,007
Хром, мг / л	0,1	0,0007 -0,0050
3,4 -бенз(а)пирен, нг / л	5,0	7,6 -29,7

Следовательно, даже в пригородной местности нежелательно пользоваться талой снеговой водой — визуальная чистота снега обманчива, в талой воде нормативная ПДК по бенз(а)пирену оказалась превышенной в 1,5— 6 раз. Снеговую воду можно использовать только при пропускании через обеззараживающий фильтр.

Данные по химическому составу снега и талых вод в Волгограде приводит О.В.Перминова (2001):

Таблица 22

**Некоторые химические показатели снеговых и талых вод  
в городе Волгограде (март 2000 г.)**

Показатели	ПДК	Снег с улиц *	Снег в лесополосе **	Сток с улиц	Сток с лесополосы
рН	6,5 –8,5	7,21	7,1	7,7	7,2
Взвешенные в-ва, мг / л	3,25	89	64	81	78
Сухой остаток, мг / л	1000	218	101	501	98,5
БПК <sub>5</sub>	3	15,65	12,3	527,5	180
Азот нитритный, мг / л	0,08	0,094	0,061	0,155	0,069
Нефтепродукты, мг / л	0,05	0,51	не обн.	0,07	не обн.

\* - центр Волгограда,

\*\* - лесополоса вблизи балки Григорова (Советский район).

## 10.2. Рыбохозяйственное нормирование

В отличие от санитарно-гигиенического нормирования питьевой воды, ПДК вредных химических веществ для рыбохозяйственных водоемов, устанавливаются экспериментально, на основе данных токсикологических исследований, проводимых на водных организмах, которые называются тест – объектами. Чаще всего в качестве таких объектов используются дафнии, гуппи и другие виды рыб.

В рыбохозяйственном водопользовании выделяются 4 класса веществ, различающихся по токсичности, способности к кумуляции (накоплению) и стабильности в водной среде.

Первый класс — чрезвычайно опасные, попадание которых в воду не допускается;

Второй класс — высокоопасные;

Третий класс — опасные;

Четвертый — умеренно опасные.

Отдельно выделен класс 4-Э для веществ, действие которых проявляется в изменении экологических условий в водоеме, к которым можно отнести эвтрофикацию, минерализацию, повышенную жесткость и др.

Для рыбохозяйственных водоемов устанавливается лимитирующий показатель вредности (ЛПВ) вещества, устанавливаемый одновременно с ПДК по наиболее чувствительному звену:

- а) токсикологический;
- б) санитарный;
- в) санитарно-токсикологический;
- г) органолептический;
- д) рыбохозяйственный.

Критериями острой токсичности являются показатели ЛК<sub>50</sub> — летальная концентрация для 50% тест-организмов и ЛК<sub>100</sub> — летальная концентрация для 100%.

Их соотношение представлено в таблице 24.

Таблица 23

**Общие требования к составу и свойствам воды объектов, используемых для рыбохозяйственных целей**

Показатели	Характеристика
Взвешенные вещества	При сбросе сточных вод на водном объекте и при проведении работ содержание взвешенных частиц не должно возрастать более чем на 0,25 мг / л для высшей и первой категории водопользования и на 0,75 мг / л для второй категории. Для водоёмов, содержащих в межень более 30 мг / л природных веществ допускается увеличение содержания на 5%.
Плавающие примеси	На поверхности воды не должны обнаруживаться плёнка нефтепродуктов, масел, жиров и других примесей
Окраска, запахи и привкусы	Вода не должна приобретать посторонних запахов, привкусов и окраски и сообщать их мясу рыб
Температура	Не должна повышаться по сравнению с естественной температурой воды более чем на 5°С
Реакция среды рН	Не должна выходить за пределы 6,5 –8,5
Минерализация воды	Согласно таксации рыбохозяйственных водных объектов
Растворённый кислород	В зимний период не менее 6 мг / л (для второй категории – не менее 4 мг / л); в летний период во всех водных объектах не менее 6 мг / л.
БПК (биохимическое потребление кислорода)	При 20°С не должно превышать 3,0 мг / л. Допускается сброс сточных вод, которые не изменяют БПК
Токсичность	Сточная вода на выпуске в водный объект не должна оказывать острого токсического действия на тест –объекты. Вода водного объекта в контрольном створе не должна оказывать хронического токсического действия на тест –объекты.



Таблица 24

**Классификация загрязняющих воду химических веществ  
по токсикологическим параметрам**

Группа	Токсичность	ЛК <sub>50</sub> за 96 -120 часов, мг / л	Рыбохозяйственная ПДК, мг / л	Отношение ЛК <sub>50</sub> / ПДК
1	Особо высокая	Менее 0,01	Менее 0,0001	100
2	Высокая	1,0 - 0,01	0,01 - 0,0001	100
3	Средняя	10 - 1,0	0,1 - 0,01	50
4	Умеренная	100 - 10	10,0 - 0,1	10
5	Малая	1000 - 100	200 - 100	5
6	Очень малая	Более 1000	Более 200	Менее 5

Таблица 25

**ПДК в воде рыбохозяйственных водоемов  
(неорганические вещества)**

Элементы	ЛПВ	ПДК, мг / л	Класс опасности
Алюминий	токсикологический	0,04	4
Аммоний NH <sub>4</sub>	токсикологический	0,5	4
Аммиак свободный	токсикологический	0,05	4
Барий и сульфат бария	токсикологический органолептический	0,75	4
Бор	токсикологический, органолептический	0,5	4
Ванадий	токсикологический	0,001	3
Железо Fe <sup>2+</sup>	токсикологический	0,1	4
Fe <sup>3+</sup>	токсикологический	0,05	4
Йод	токсикологический	0,4	4
Кадмий	Токсикологический	0,005	2
Калий	санитарно-токсик.	50	4Э
Кальций	санитарно-токсик.	180 610 при 13 -18‰	4Э
Кобальт	токсикологический	0,01	4
Литий	токсикологический	0,08	4
Магний	санитарно-токсик.	40,0	4
Марганец	токсикологический	0,01 - 0,05	4
Медь	токсикологический	0,001 - 0,005	3
Молибден	токсикологический	0,001	2
Мышьяк	токсикологический	0,01 - 0,05	3
Никель	токсикологический	0,01	3
Нитраты	санитарно-токсик.	40	4
Нитриты	токсикологический	0,08	4
Олово	токсикологический	0,112	4
Ртуть	токсикологический	отсутствие	1
Свинец	токсикологический	0,006 - 0,1	2 - 3
Селен	токсикологический	0,002	2
Стронций	токсикологический	0,4	3
Сульфаты	санитарно-токсикологический	100 3500 при 12 -18‰	3
Фосфор элементарный	токсикологический	отсутствие	1

ПДК по содержанию фосфатов различаются по санитарно-токсикологическому ЛПВ: 0,05 мг / л в олиготрофных водоемах; 0,15 мг / л в мезотрофных и 0,2 мг / л в эвтрофных.

Таблица 26

**ПДК в воде рыбохозяйственных водоемов  
(органические вещества)**

Вещества	ЛПВ	ПДК, мг / л	Класс опасности
Буровые растворы	токсикологический	1,25 100	
Рибофлавин (витамин В <sub>2</sub> )	санитарно-токсик.	0,06	4
Гуминовые кислоты, в т. ч. лёгкие растворимые фракции	санитарно-токсик. санитарно-токсик.	2,0 3,7	4 4
Капролактam	токсикологический	0,01	3
Кормогризин (бактериальный препарат)	санитарно-токсик.	0,12	4
Масло соляровое	токсикологический	0,01	4
Метанол (метиловый спирт)	санитарно-токсик.	0,1	4
Мочевина	санитарно-токсик.	80,0	4
Нефтепродукты в растворённом и эмульгированном состоянии	рыбохозяйственный	0,05	4
Фенол	рыбохозяйственный	0,001	3
Хлороформ	рыбохозяйственный	0,005	1
Этанол (этиловый спирт)	санитарно-токсик.	0,2	4

Кроме того, в водоемы вообще не должны попадать такие инсектициды как изофос, хлорофос, метафос, карбофос, байтекс; пестицид фозалон и др.

Всего в «Перечне» приведены ПДК и ЛПВ по 1204 веществам.

**10.3. РЕКРЕАЦИОННОЕ НОРМИРОВАНИЕ**

При использовании водных объектов для рекреации нормируется определенный пространственный минимум: на 1 га акватории должно приходиться не более 5 – 10 весельных ло-

док, на одну моторную или парусную лодку от 1,5 до 8 га. Каждому купальщику необходимо от 4 до 25 м<sup>2</sup> водной поверхности, 20-40 м<sup>2</sup> пляжа и 300 м<sup>2</sup> прибрежной территории (Миркин, Наумова, 1995).

В случаях одновременного использования водного объекта (всей акватории или части) для различных нужд для оценки качества воды следует исходить из более жестких требований одноименных нормативов. Обоснование ПДК для воды проводится по одному из трех лимитирующих признаков нормирования (санитарно-гигиенического, токсикологического и органолептического) на основе экспериментальных исследований. В результате санитарно-токсикологических исследований определяют подпороговые или максимально недействующие (МНК) пороговые или минимально действующие (МДК) дозы или концентрации вредного вещества в хроническом опыте длительностью не менее 6 часов.

## **Задания для самостоятельной работы студентов**

### **К теме 3**

На основании фактических данных за 70 лет (в таблице указаны среднесуточные расходы воды в м<sup>3</sup> / с):

2240	2130	2410	1680	2140	2000	1980
2080	2240	1750	2020	2200	1790	2140
1660	1790	1890	2140	1670	1840	2080
2400	2210	2200	1840	2330	2210	2140
2180	1840	2070	1850	2040	2170	2330
2260	2400	1940	2210	2100	1890	2090
1780	1850	2040	2310	2060	2180	2140
2260	2040	2020	2140	2240	2080	1880
2200	1960	2140	2080	2080	2000	1990
1680	2030	2300	2090	1990	2260	2150

Необходимо:

- а) сгруппировать данные по интервалам;
- б) рассчитать обеспеченность и повторяемость;
- в) построить соответствующие кривые.

### **К теме 10**

Сравнить ПДК рыбохозяйственных водоемов по данным 1987 г. (Бессонов, Привезенцев, 1987) и за 1999 г. (Перечень, 1999) и сформулировать возможные причины изменений тех или иных ПДК.

## **Контрольные вопросы по курсу «Гидрология»**

1. Перечислите основные способы измерения скоростей течения.
2. Каким образом выбираются скоростные и промерные вертикали на поперечном створе?
3. В каких случаях необходим расчет скоростей течения?
4. Опишите порядок расчета расходов воды аналитическим способом?
5. Чем различаются величины обеспеченности и повторяемости расходов воды?
6. Какие данные необходимы для построения кривых расходов воды?

7. От каких факторов зависит пропускная способность русла реки и как это отражается на кривых расходов?
8. Какие факторы влияют на испарение с водной поверхности и как они учитываются в расчетах?
9. Каким образом построение батиграфических и объемных кривых способствует анализу данных по водохранилищам?
10. Как влияет на величину испарения форма водоема?
11. По каким причинам необходимо предусматривать расчеты мертвого объема водохранилища?
12. Сформулируйте различия между балансowymi и обобщенными методами расчетов регулирования стока.
13. Опишите выгодность режимов эксплуатации водохранилищ для различных отраслей народного хозяйства.
14. Охарактеризуйте различия в подходах к экологическому нормированию для питьевого водоснабжения, рыбохозяйственного и рекреационного использования водных объектов.
15. Почему нежелательно использование талой снеговой воды для питьевых нужд населения?
16. Какие вещества могут образовываться в процессах обеззараживания питьевой воды и насколько они вредны для человека?

## **Рекомендуемая литература**

1. Берникова Т.А., Демидова А.Г. Гидрология и гидрохимия. М.: Пищевая промышленность, 1977. — 312 с.
2. Бессонов Н.М., Привезенцев Ю.А. Рыбохозяйственная гидрохимия. М.: Агропромиздат, 1987. — 159 с.
3. Железняков Г.В., Негоновская Т.А., Овчаров Е.Е. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока. М.: Колос, 1984. — 432 с.
4. Исаев А.И., Карпова Е.И. Рыбное хозяйство водохранилищ. Справочник. М.: Агропромиздат, 1989. — 255 с.
5. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Экология России. М.: Юнисам, 1995. - 232 с.

6. А.М.Никаноров, Т.А.Хоружая. Экология. М.: Издательство «Приор», 2000. — 304 с.

7. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999.

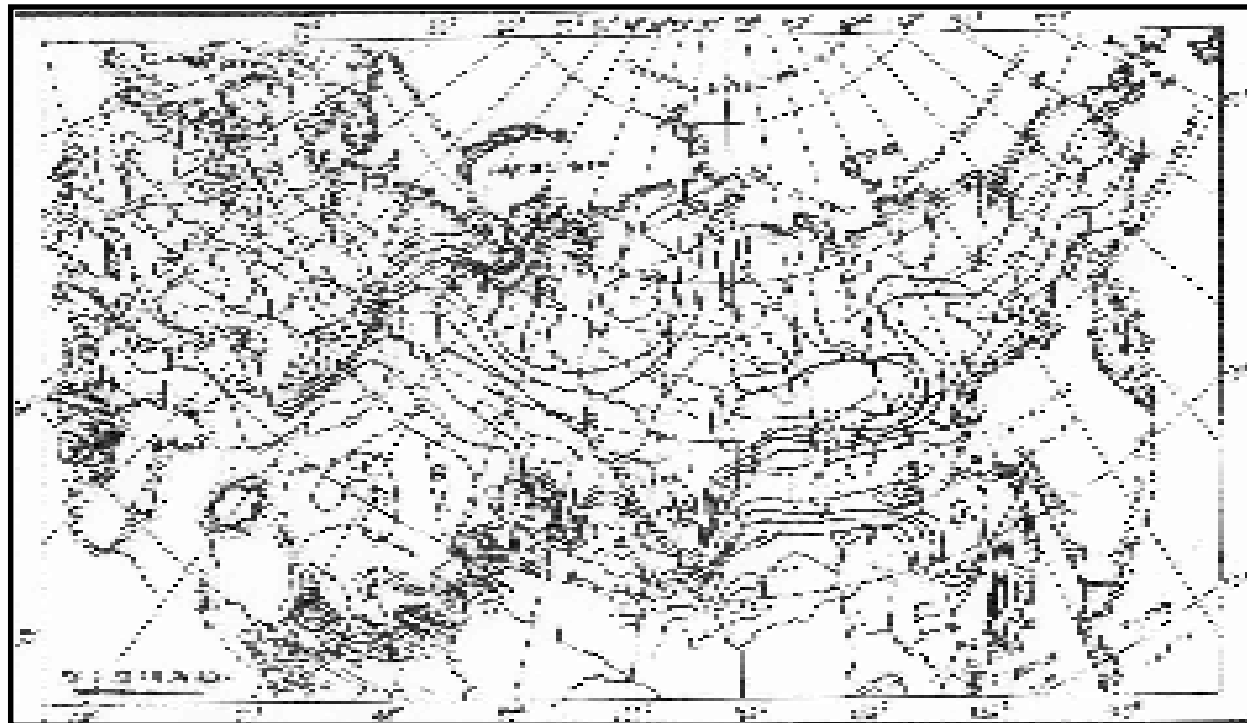
8. Пермякова О.В. Качественный состав ливневых и талых стоков в условиях Волгоградской агломерации. // эколого-экономические проблемы Нижней Волги. Волгоград: изд-во ВолГУ, 2001. С. 51-57.

9. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат, 1986. — 448 с.

10. Практикум по гидрологии, гидрометрии и регулированию стока. (под ред. Е.Е.Овчарова). М.: Агропромиздат, 1988. — 224 с.

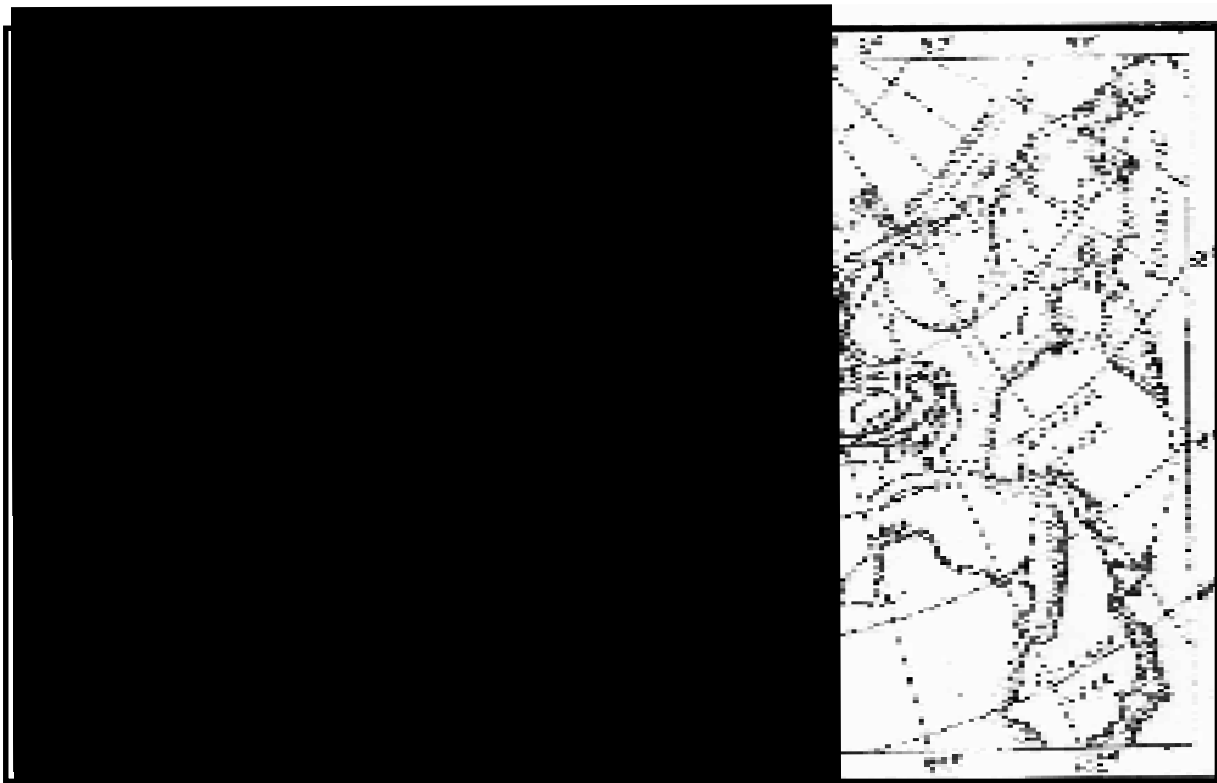
11. Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. М.: Финансы и статистика, 2000.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

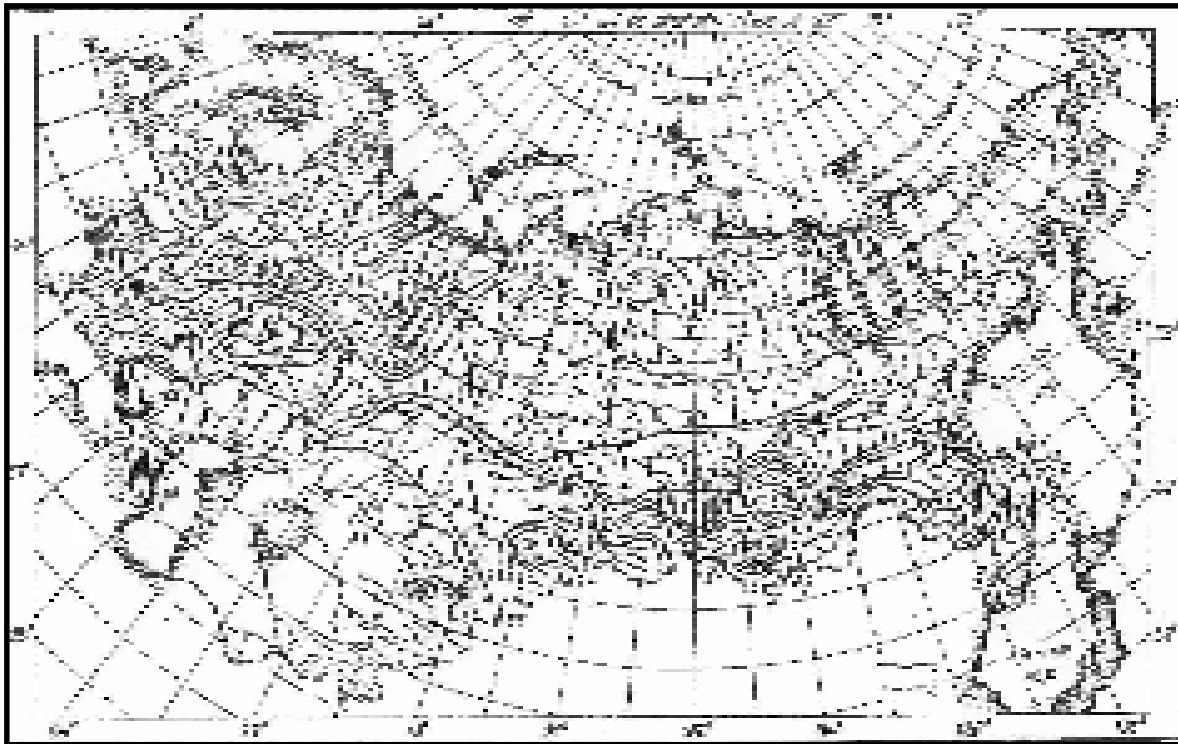


Приложение 1. Норма стока на территории СССР в л/(с · км<sup>2</sup>) по Б.Д. Зайкову, 1946.

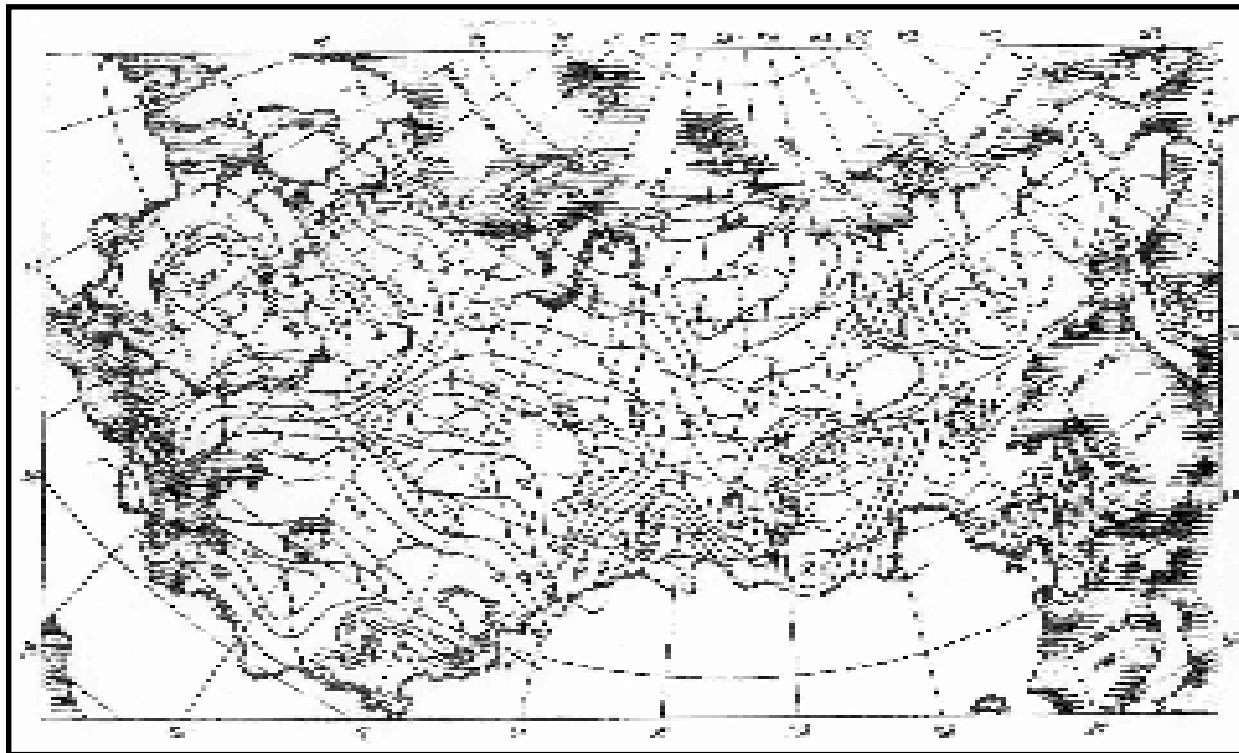




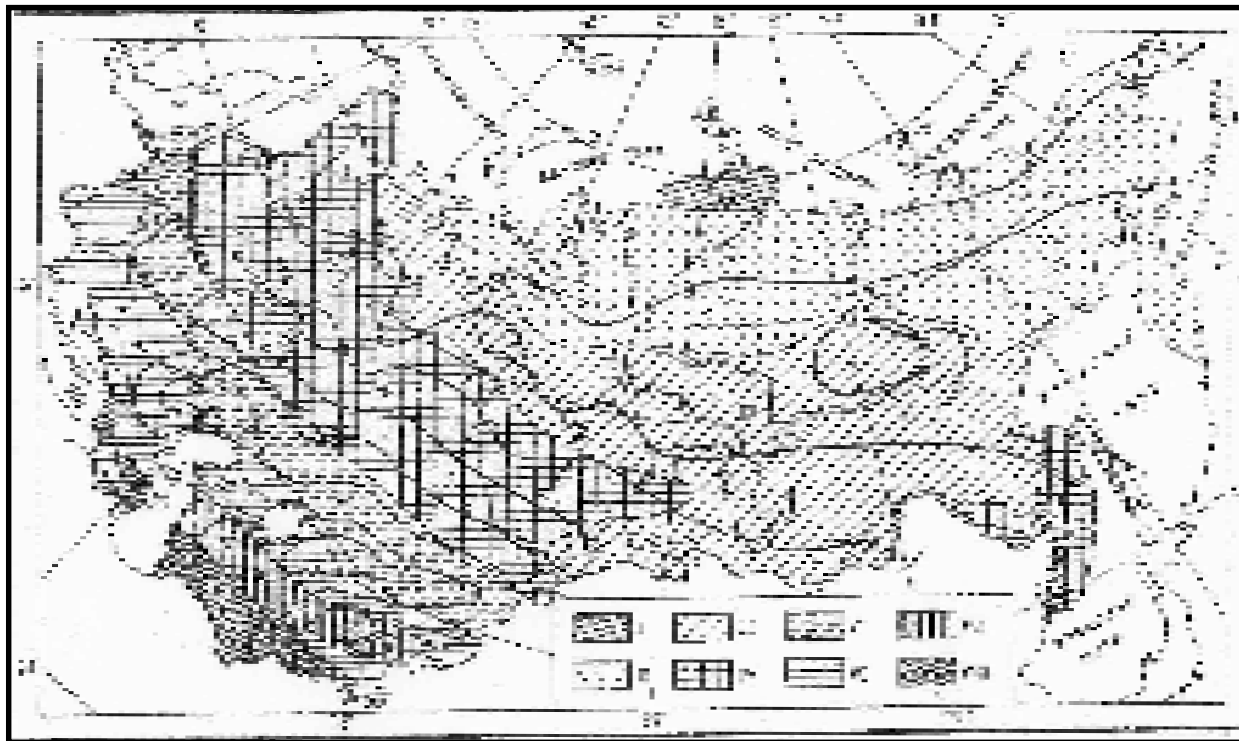
Приложение 2. Весенний сток рек СССР (1) и значение коэффициентов изменчивости  $C_{\text{об}}$  (2) [33].



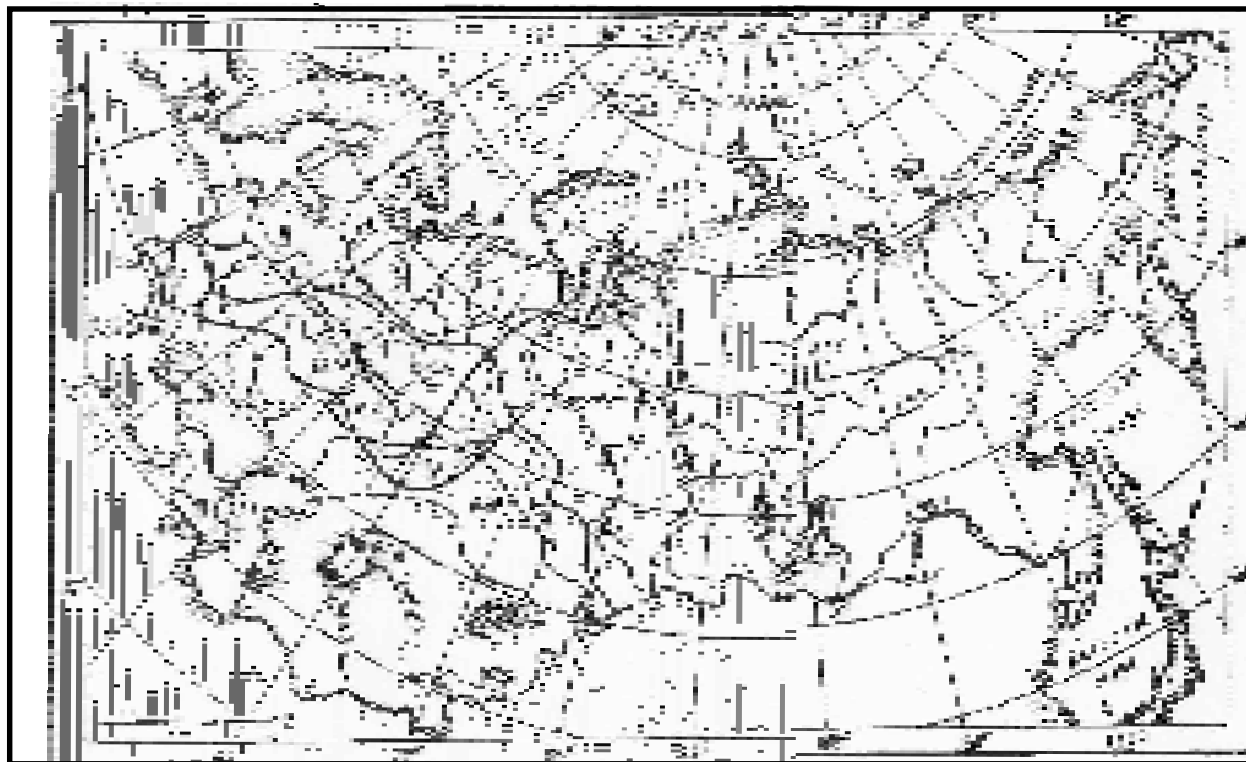
Приложение 3. Модули максимальных расходов воды  $q$  с вероятностью превышения 1%, приведенны к площади водосбора  $200 \text{ км}^2$  [33].



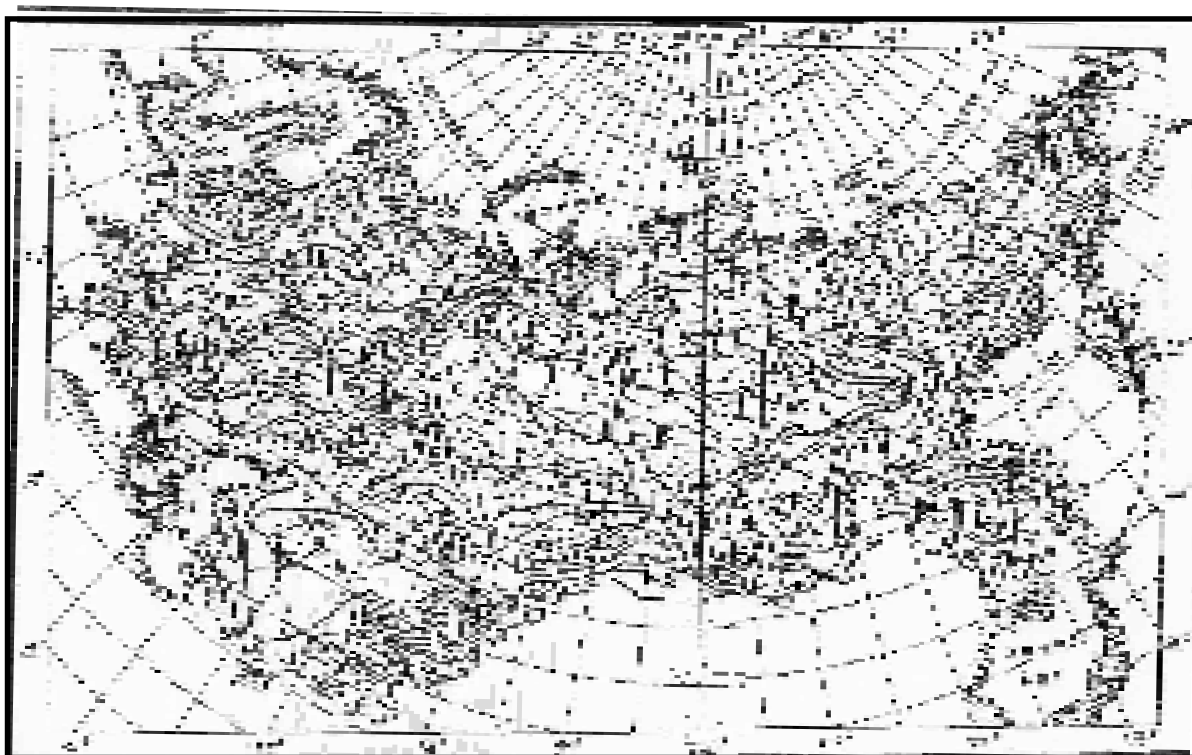
Приложение 4. Карта соединноголетнего годового слоя испарения (мм).



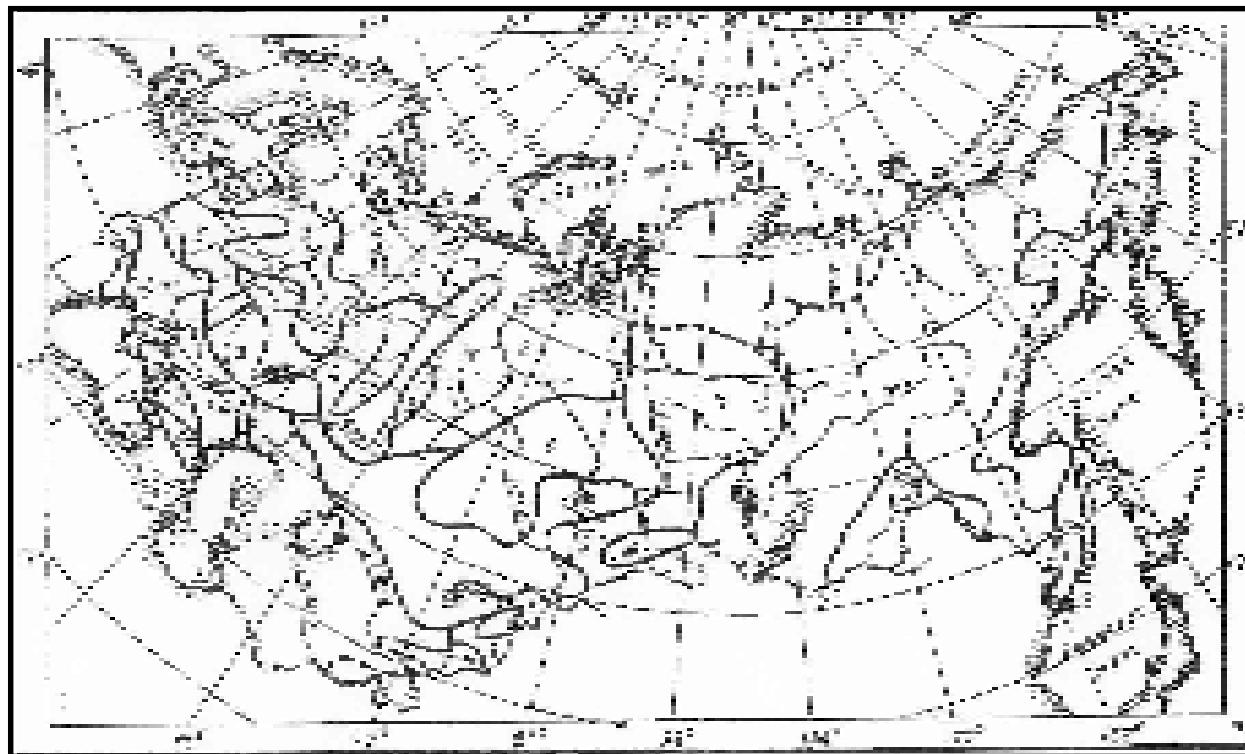
Приложение 5. Карта среднемноголетнего испарения с водной поверхности бассейна площадью 20м<sup>2</sup> и схема районирования СССР на зоны внутригодового хода испарения.



Приложение 6. Карта районов с постоянными значениями коэффициентов  $n$  (1) и  $\lambda_p$  (2).



Приложение 7. Суточный слой осадков повторяемостью 1 раз в 100 лет.



Приложение 8. Районы распространения типовых кривых редукции осадков.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Тема 1. Измерение и расчет скоростей течения.....	4
Тема 2. Расчёт расходов воды аналитическим методом .....	9
Тема 3. Расчёты обеспеченности и повторяемости гидрологических величин.....	11
Тема 4. Зависимости между уровнями и расходами воды в реке .....	14
Тема 5. Расчёты испарения с водной поверхности и с суши.....	17
5.1. ИСПАРЕНИЕ С ПОВЕРХНОСТИ СУШИ .....	20
Тема 6. Характеристики водохранилища.....	21
Тема 7. Определение мёртвого объёма водохранилища .....	25
Тема 8. Расчёты водохранилища сезонного регулирования таблично-цифровым балансовым методом.....	27
Тема 9. Оценка требований различных отраслей к водным ресурсам и регулированию стока ....	31
Тема 10. Экологические нормативы для водных объектов .....	33
10.1. Хозяйственно - питьевое водоснабжение .....	33
10.2. Рыбохозяйственное нормирование .....	39
10.3. Рекреационное нормирование .....	42
Задания для самостоятельной работы студентов .....	44
Контрольные вопросы по курсу «Гидрология» .....	45
РЕКОМЕНДУЕМАЯ литература.....	46
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	47



**Для ЗАМЕТОК**

Залепухин В.В.

## **Г И Д Р О Л О Г И Я**

*Гидрология*  
*и гидрогеология*  
*в Волгоградской области*  
*«Агроинформ»*

Главный редактор *А.В. Шестакова*  
Редактор  
Технический редактор *А.В. Лепилкина*  
Художник *Н.Н. Захарова*

Подписано в печать 24.10 2002. Формат 60×84/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. .  
Уч.-изд. л. . Тираж экз. Заказ . «С» .

Издательство Волгоградского государственного университета.  
400062, Волгоград, ул. 2-я Продольная, 30.