

**МИНОБР РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное**  
**образовательное учреждение высшего образования**

**Тульский государственный университет**  
**Кафедра Аэрологии, охраны труда и окружающей**  
**среды**

**"Экологические функции биосферы"**  
**ч. III**  
**Методические указания**  
**по самостоятельной работе студента**  
**(контрольно-курсовая работа)**

**Направление подготовки 20.03.01 "Техносферная**  
**безопасность"**

**Форма обучения – очная, очно-заочная, заочная**  
**Код квалификации 62**

**Тула 2017**

Разработал А.Ф.Симанкин, канд. техн. наук, профессор

Рассмотрено на заседании кафедры АОТиОС  
Протокол №\_\_\_от\_\_\_\_\_2017 г.

Зав. кафедрой АОТиОС, д.т.н., проф.  
В.М.Панарин

Нормоконтролер, ответственный за стандартизацию на  
кафедре

\_\_\_\_\_ Н. Н. Афанасьева

## 1. РЕКА. РЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ

Целью работы является определение морфометрических характеристик реки и ее системы.

Задачи работы: определение площади бассейна водосбора, определение характеристик бассейна.

### Теоретическая часть

Постоянный поток воды, образованный при выпадении осадков, получающий питание из подземных горизонтов, называется рекой.

Основными признаками, характеризующими реки, являются: длина реки, площадь водосбора, высотное положение водосбора, ширина площади водосбора, крутизна клонов и русла и др.

Длиной реки называют расстояние по реке от истока до устья в километрах. Реки практически всегда извилисты. Если измерить длину реки по длине ее ленты и сравнить с расстоянием по прямой от истока до устья, то получится некоторая величина, больше единицы, характеризующая извилистость реки.

Коэффициент извилистости реки равен:

$$K_{\text{из}} = \frac{L}{L_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

где  $L$  - длина реки по ее длине,  $L_{\text{пр}}$  - расстояние от истока до устья по прямой.

Территория, с которой стекает вода в данную реку, носит название площади водосбора. Повинуясь закону тяготения, вода устремляется вниз с высоких отметок местности. Если внимательно посмотреть на карту местности, то в верховьях рек можно увидеть отдельные высокие отметки, с которых вода начнет свое движение к водотоку. С высоких отметок вода устремляется в сторону того или иного потока и эта точка будет характеризовать водораздел.

Соединение плавной линией высоких водораздельных отметок, оконтуривание участка местности по водоразделам даст площадь водосбора реки (рис. 1.).

При определении площадей водосбора притоков (частные водосборы) операцию повторяют, проводя водораздельную линию между соседними водотоками. При определенных условиях частные водосборы могут и не иметь общую границу. Это возможно при наличии неоформившихся потоков, сухих балок и пр.

Площадь водосбора для фигур неправильной формы можно определять с помощью планиметра или методом квадратов. Для этого площадь водосбора разделяется на ряд малых квадратов, желательно со стороной квадрата равной 1 км. Тогда площадь малого квадрата равна  $1 \text{ км}^2 - F_1$ .

Подсчет начинают с полных квадратов -  $n_1$ , затем подсчитывают число квадратов, заполненных на  $\frac{3}{4}$  -  $n_2$ , затем – наполовину -  $n_3$ , затем – на четверть -  $n_4$ . Площадь водосбора будет равна  $F = (1n_1 + 0,75n_2 + 0,5n_3 + 0,25n_4)F_1$ .

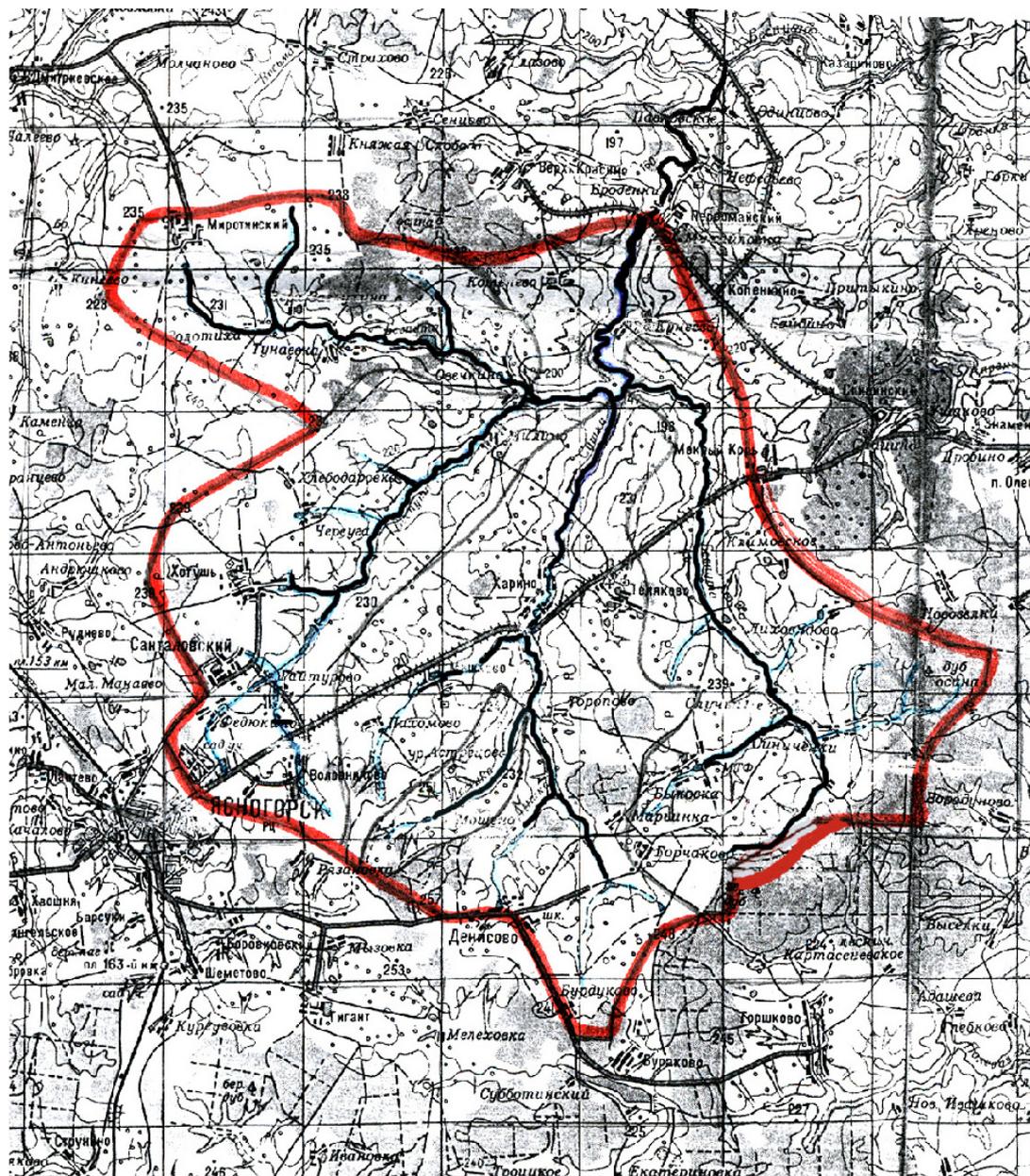


Рис. 1. Водосборная площадь речной системы

Водосборы отличаются сложной геометрией фигур, для их характеристики используют понятия протяженности и ширины водосбора, коэффициент развития водораздельной линии, средний уклон и т.п. Длиной или протяженностью бассейна называют расстояние по прямой (слабоизгибающейся) линии от устья главной реки до самой удаленной точки бассейна. При сильном изгибе бассейна прямая заменяется ломаной линией. Ширина бассейна не

остаётся постоянной по длине бассейна, поэтому чаще используют понятие средней ширины бассейна.

Средняя ширина бассейна равна площади бассейна, деленной на длину:  $V = \frac{F}{L}$ . (2)

Для схематического изображения речной системы составляется гидрографическая схема. На схеме главная река изображается прямой линией в масштабе от истока до устья. От устья реки по левому и правому берегу на расстояниях от устья главной реки под углом  $45^\circ$  (можно и  $90^\circ$ ) проводятся линии, изображающие притоки. В местах впадения притоков (водотоков) в притоки главной реки и тоже под углом изображаются притоки (водотоки меньших порядков). На схеме подписываются названия рек (рис. 3).

Список рек составляется по картам крупного масштаба, в список включаются реки длиной более 10 км или реки, имеющие название. При составлении схемы реки в масштабах региона допустимо включение и водотоков первого порядка.

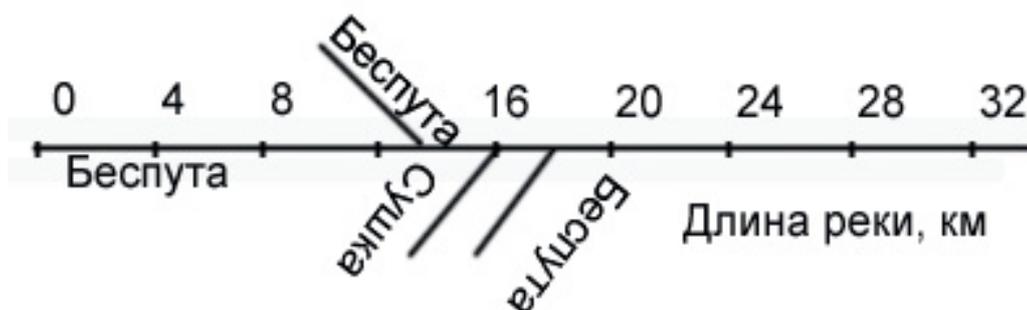


Рис. 3. Схема речной системы и график нарастания водосбора

Схема сопровождается таблицей (табл. 1.).

Таблица 1.

Список рек бассейна реки Беспута

№ п.п.	Название реки	Куда впадает, с какого берега	Расстояние от истока, км	Длина, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>
1	Беспута	в Беспуту, левого берега	с 13,5	12,6	46,5
2	Сушка	в Беспуту, правого берега	с 16,2	19,8	109,8
3	Беспута	в Беспуту, правого берега	с 17,4	16,4	80,5

Дополнительным иллюстративным материалом является график нарастания площадей водосбора. F

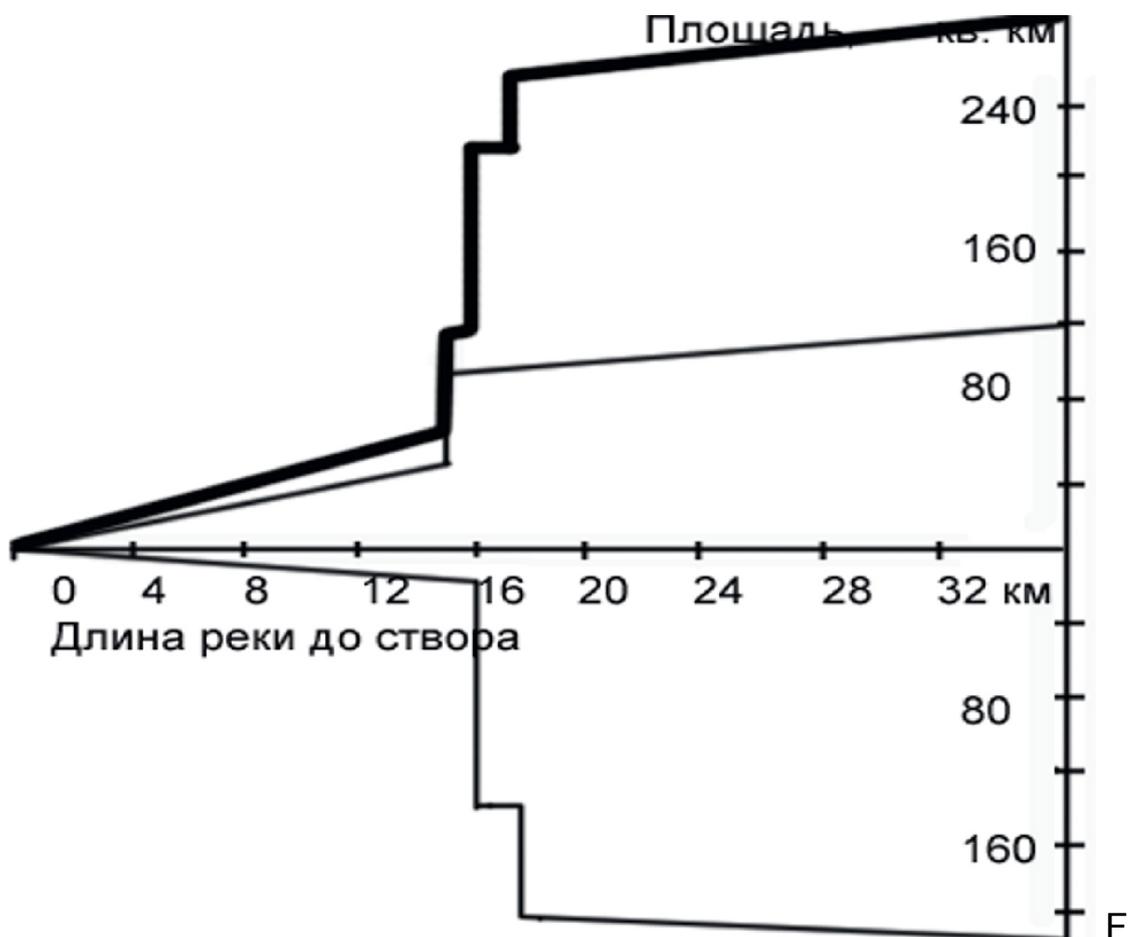


Рис. 4. График нарастания площадей водосбора речной системы

Для построения графика в выбранном масштабе по горизонтальной оси откладывается длина главной реки, по вертикали - площади. Для правого берега график строится вниз, для левого - вверх. От истока до первого притока график может изображаться либо односторонним, либо двусторонним, делением площади водосбора водотока первого порядка пополам. В любом случае линия графика на этом участке изображается наклонной линией, соединяющей нуль графика с точкой, изображающей площадь частного водосбора первого порядка. При впадении притока график изображается линией вверх или вниз (в зависимости от берега) до отметки, равной сумме площадей двух частных водосборов: первого порядка и первого притока (первого порядка). Далее график может изображаться горизонтальной линией, если до впадения следующего притока нет межбассейнового пространства (сухих балок, оврагов) и наклонной, если межбассейновое пространство имеется. В общем виде график получается в виде многоступенчатой пирамиды, положенной на бок.

На одной стороне график дополняется суммарным графиком нарастания площадей водосбора. Полученный график позволяет значительно упростить процесс определения нарастания расходов в реке или системе для целей воднохозяйственного проектирования.

Например, было выбрано место для расположения предприятия, определен створ для сброса сточных вод. Допустим, что предполагаемый створ находится на расстоянии 16,5 км (рис. 4). На графике по горизонтали откладывается расстояние створа от истока и возводится перпендикуляр до линии, характеризующей суммарную площадь нарастания (жирная линия на рис. 4), и определяется площадь водосбора. На рис. 4 – площадь будет равна 210 км<sup>2</sup>.

## **2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В РЕКЕ**

Цель и задачи работы. Целью работы является освоение методики определения скорости движения воды в реке по данным топографического анализа.

### **Теоретическая часть**

Сечение потока плоскостью, перпендикулярной динамической оси потока, называется водным сечением потока. В нем различают живое и мертвое пространство. Пространство, в котором существующими методами и приборами можно измерить скорость движения воды носит название живого потока. Непосредственно у берегов, на участках, заросших растительностью, скорость движения воды практически не фиксируется, поэтому эти объемы называют мертвым пространством.

Основными морфологическими характеристиками живого сечения являются ширина, средняя глубина, площадь сечения, смоченный периметр и гидравлический радиус.

Шириной реки называют расстояние между урезами правого и левого берегов, шириной живого сечения - расстояние между точками живого тока правого и левого урезом. Площадь сечения русла и живого сечения потока, соответственно, - площадь, ограниченная снизу дном, с боков - берегами русла, линией живого течения, а сверху - линией горизонта воды. При наличии ледяного покрова верхней границей является нижняя граница льда.

Средняя глубина русла и живого сечения является частное от деления площади на ширину.

Смоченный периметр представляет собой длину подводного контура поперечного сечения, т.е. длину линии дна между урезами.

Смоченный периметр отличается от понятия периметр, т.к. не включает в себя ширину водной глади между урезами.

Гидравлический радиус равен отношению площади сечения  $\chi$  к смоченному периметру  $P$ :

$$R = \frac{\chi}{p}, \quad (1)$$

Для речных русел равнинных рек вместо гидравлического радиуса используют среднюю глубину русла.

Продольный профиль реки, построенный по высотным отметкам дна реки или лога долины, предоставляет исследователю массу информации. Продольный профиль строится на основании данных о протяженности отдельных характерных участков реки и высотных отметок границ этих участков. При отсутствии данных о высотных отметках дна для неглубоких водоемов можно использовать данные о высотных отметках уровня воды, данные о пересечениях изолиний речных долин и т.п. Границами участков могут быть места резкого увеличения (уменьшения) глубин, перекаты, острова, устья притоков и пр.

По всем данным строится продольный профиль реки. По горизонтали откладывается расстояния от истока до границ характерных участков, по вертикальной оси - высотные отметки. Полученные точки соединяются прямыми отрезками.

Уклоном называют отношение разности высотных отметок в начале и конце участка к длине участка. Уклон выражается в относительных единицах. Иногда употребляется выражение в промиллях ( $^{\circ}/_{00}$ ), тысячных долях длины. Различают средний и средневзвешенный уклон. Средним уклоном называется отношение разности отметок дна в истоке и устье реки к длине реки.

Средневзвешенный уклон вычисляется как отношение разности отметок выровненной прямой к длине реки.

Выравнивание производится путем построения прямой линии, проходящей через точку с координатами:

$$X_C = \frac{L}{2}; \quad Y_C = \frac{\Omega}{L} = H_{cp}, \quad (2)$$

где  $L$  - длина реки,  $H_{cp}$  - средняя высота продольного профиля,  $\Omega$  - площадь, ограниченная линией продольного профиля и осями координат.

Продольные профили могут быть, так называемыми, профилями равновесия, с уклонами, постепенно уменьшающимися от истока к устью, прямолинейными, сбросовыми, имеющими вид пораболлической кривой с малым падением в верхней части и большим в нижней части и ступенчатыми (рис. 2.).

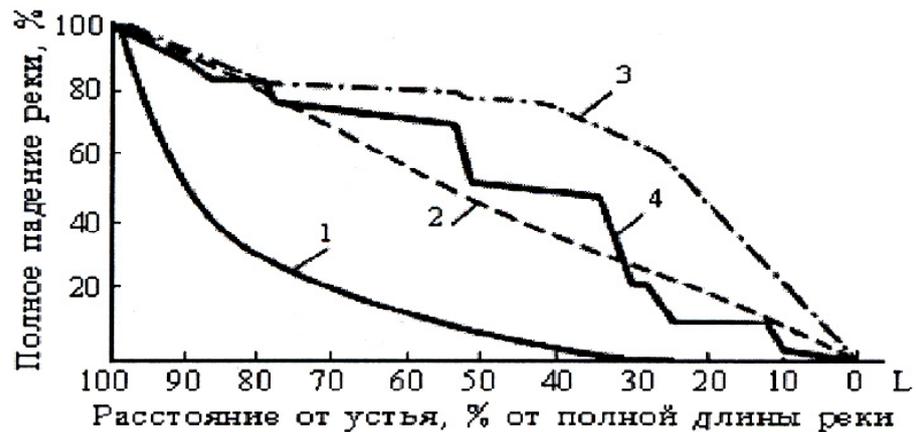


Рис. 2. Профили гидравлического уклона

Ступенчатые профили типичны для рек с водопадами, они свойственны рекам, протекающим в горных трудноразмываемых породах.

Для наиболее часто встречающегося случая равномерного движения жидкости средняя скорость воды может быть получена с помощью формулы Шези.

$$u^2 = \frac{C^2 \omega h_{\omega}}{\chi L} = C^2 Ri; \quad u = C \sqrt{Ri}. \quad (3)$$

Где  $C$  – коэффициент Шези,

$\omega$  – площадь поперечного сечения реки,  $m^2$ ,

$h_{\omega}$  – перепад отметок дна на изучаемом участке, м,

$\chi$  – смоченный периметр, м,

$L$  – расстояние между изучаемыми сечениями, м,

$R$  – гидравлический радиус, м,

$i$  – уклон дна реки, тысячные.

Величина коэффициента  $C$  не является постоянной и зависит от глубины, шероховатости русла, уклона:

$$C = f(R, i, k).$$

Наиболее простой формулой для определения коэффициента  $C$  является формула Маннинга:

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}, \quad (10)$$

где  $n$  – коэффициент шероховатости стенок русла

Для определения коэффициента шероховатости применяется также формула Н.Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n} R_0^y, \quad (11)$$

где  $y$  – показатель степени, зависящий от условий движения потоков и состояния их граничных поверхностей (шероховатости).

Для определения  $y$  Н.Н. Павловский рекомендует следующие зависимости:

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R_0}(\sqrt{n} - 0,1); \quad (12)$$

и приближенное значение

$$y = 1,3\sqrt{n} \text{ при } R_0 > 1 \text{ м и } y = 1,5\sqrt{n} \text{ при } R_0 < 1 \text{ м.}$$

Значения коэффициентов  $n$  для земляных каналов составляют для обычного 0,02, для плохого состояния 0,025, М.Ф.Срибный для естественных русел равнинных потоков рекомендует принимать  $n$  в пределах: чистые - 0,025, для больших и средних рек при благоприятных условиях - 0,033, для засоренных - 0,04, для периодических потоков - 0,05 - 0,067.

В формуле Шези часто гидравлический радиус заменяют на среднюю глубину потока  $H_{cp}$ . В этом случае формула показывает, что скорость потока увеличивается с ростом глубины, что объясняется ослабевающим влиянием шероховатости дна и снижением вязкостного напряжения.

### **3. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

Целью и задачами работы является изучение основных способов обработки данных наблюдений методами математической статистики, освоение инженерных методов расчета основных гидрологических характеристик водных потоков.

#### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

Формирование речного стока происходит под влиянием большого числа факторов и их сочетаний, изменяющихся во времени и пространстве, учесть которые трудно, а иногда невозможно. Поэтому гидрологические процессы рассматриваются как случайные, для изучения которых используется теория вероятностей. При обработке больших совокупностей чисел используются методы математической статистики.

Случайные события. Если некоторое событие при данных условиях может произойти или не произойти, то оно называется случайным. Количественной оценкой возможности появления случайного события является ее вероятность.

Пусть значения годового стока воды за период наблюдения из лет принимали некоторые значения. Расположим значения годового стока в порядке возрастания или убывания, разделим всю амплитуду их значений на равные интервалы и подсчитаем количество значений (число событий), попавших в каждый интервал. Результаты подсчетов представим в виде графика. По оси абсцисс будем откладывать значения интервалов, по оси ординат – число событий.

Число значений (число событий) в каждом интервале можно разделить на общее число наблюдений и получить относительную величину, которую будем называть частотой  $m$ . При этом сумма частот равна единице.

Столбчатый график из числа событий и интервалов значений, например, стока называют гистограммой (рис. 4.1.).

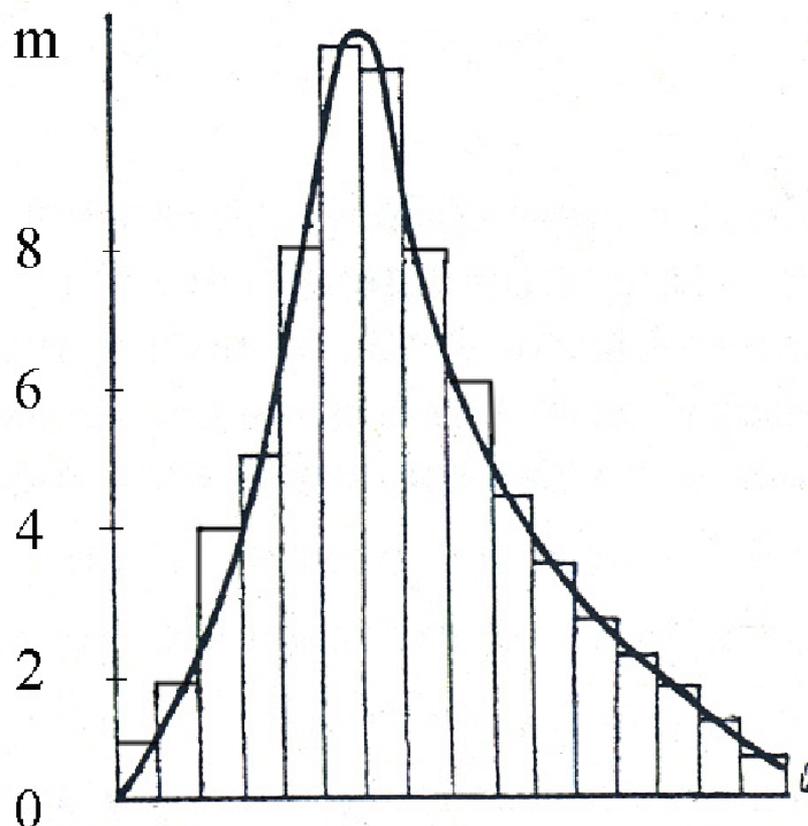


Рис. 4.1. Гистограмма и кривая распределения

При бесконечном уменьшении интервалов и увеличении их числа гистограмма превращается в кривую распределения вероятностей.

Значения частот при этом будут численно равны эмпирической вероятности.

Кривая, проходящая через середины столбиков, носит название кривой эмпирической вероятности.

В качестве параметров аналитических кривых распределения используют центры распределения, меры рассеивания переменных, показатели асимметрии.

Если величины представлены значениями  $x_i$ , то среднее арифметическое значение находится по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (1)$$

Если переменные были сгруппированы и определены частоты событий в интервалах  $\Delta x_i$ , то среднее арифметическое определяется по формуле

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k m_i x_i}{\sum_{i=1}^k m_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k m_i x_i, \quad (2)$$

где  $k$  - число групп,  $m_i$  - частота в группе,  $x_i$  - среднее значение интервала.

Обозначая  $p_i = \frac{m_i}{n}$ , как эмпирическую частоту (вероятность), получаем

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^k p_i x_i. \quad (3)$$

Для получения характеристик распределения построим таблицу

Таблица 1

№пп.	Интервалы	Середина интервала	Число событий, $m$	Частота событий, $\frac{m}{n} 100, \%$	Накопленная частота, $\sum \frac{m}{n} 100 \%$
1					
2					

Наиболее часто в качестве меры рассеивания ряда используется среднеквадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (4)$$

В гидрологических расчетах при числе наблюдений менее 30 (короткие ряды) для расчета среднеквадратического отклонения используется формула

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (5)$$

Квадрат среднеквадратического отклонения  $\sigma^2$  называется дисперсией  $D$ .

Мерой изменчивости той или иной величины является коэффициент  $C_v$  вариации, который представляет собой отношение среднеквадратического отклонения к среднему значению ряда

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}. \quad (6)$$

При подстановке значений среднеквадратического отклонения получим выражение

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{x^2(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum(\frac{x_i}{\bar{x}} - 1)^2}{n-1}}. \quad (7)$$

В качестве характеристики асимметричности ряда принимается среднее значение отклонений членов ряда от его среднего арифметического значения в третьей степени

$$\mu_3 = \frac{1}{n} \sum(x_i - \bar{x})^3. \quad (8)$$

В симметричных распределениях отклонения от среднего взаимно уравновешиваются, поэтому  $\mu_3$  равно нулю. В асимметричных распределениях при положительной асимметрии ряд включает в себя большие положительные отклонения и незначительные отрицательные. При возведении в третью степень сумма отклонений будет положительной. При отрицательной асимметрии  $\mu_3 < 0$ . Чтобы получить безразмерные выражения для характеристики асимметрии ряда, среднее значение отклонений в третьей степени делят на среднеквадратическое отклонение в третьей степени

$$C_s = \frac{\mu_3}{\sigma^3} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^3}{n\sigma^3}. \quad (9)$$

Заменяя  $\sigma = C_v \bar{x}$ , имеем:

$$C_s = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^3}{nC_v^3 \bar{x}^3}. \quad (10)$$

Для коротких рядов

$$C_s = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^3}{(n-1)C_v^3 \bar{x}^3}. \quad (4.11)$$

Формулы (6 - 11) могут быть представлены путем замены величин на модульный коэффициент

$$k_i = \frac{x_i}{\bar{x}}. \quad (12)$$

#### **4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ КРИВЫЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ**

Целью работы является ознакомление с основными законами распределения, используемыми в гидрологии и методами подбора теоретических кривых обеспеченности.

Основными задачами работы являются: установление характеристик стока различной обеспеченности, установление средней многолетней величины стока и возможных его колебаний на длительный период, экстраполяция данных наблюдений с использованием типовых уравнений, соответствующих очертанию некоторых теоретических кривых.

##### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

Расчеты годового стока для водохозяйственных целей представляются в виде количественной его оценки, отвечающей той или иной заданной обеспеченности или повторяемости (в среднем за  $n$  лет) без указания срока наступления расчетных величин. Расчетная обеспеченность назначается исходя из соображений о степени бесперебойности работы гидротехнических сооружений.

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.

Графическая экстраполяция с предварительным спрямлением кривой на специальной клетчатке возможна при наличии длинного ряда наблюдений, а также, если экстраполяция незначительна.

Аналитическое сглаживание и экстраполяция применяется при ограниченных рядах наблюдений или при наличии длинного ряда, когда требуется перенести параметры кривой обеспеченности методом аналогии на неизученные реки.

Сглаживание (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 расходов, модулей стока с некоторыми теоретическими кривыми обеспеченности, построенными для распределения случайных величин, показали их достаточно хорошее совпадение, поэтому эти кривые используются как техническое средство для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых до заданных пределов обеспеченности.

Для построения теоретической кривой обеспеченности, которая бы соответствовала эмпирической кривой, необходимо по данным

наблюдения вычислить значения параметров ее дифференциального уравнения и произвести его интегрирование.

Параметрами теоретических кривых обеспеченности являются:

1) средняя многолетняя величина, норма, годового стока ( $Q_0$ ,  $M_0$ );

2) коэффициент вариации, изменчивости годового стока ( $C_v$ );

3) коэффициент асимметрии годового стока ( $C_s$ ).

Метод построения теоретической кривой используется для целого ряда величин: нормы стока, модуля стока, выпадения осадков на площадь и т.п. Для унификации расчетов примем, что средняя величина признака записывается выражением  $\bar{X}$ .

Значения коэффициентов  $C_v$  и  $C_s$  годового стока, так же как и его нормы, определяются различными методами.

*Коэффициент вариации* или изменчивости годового стока служит мерой оценки колебания годовых величин стока относительно нормы и численно равен относительному среднеквадратическому отклонению

$$C_v = \frac{\sigma_x}{\bar{X}}, \quad (1)$$

Он служит также для сравнения отдельных статистических рядов, например годовых величин стока разных рек, в отношении их изменчивости или рассеяния точек на кривой.

*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 более 100-150 лет.

$$C_s = \frac{\sum(k_i - 1)^3}{nC_v^3}, \quad (2)$$

Где  $k_i$  – модульный коэффициент ( $k_i = \frac{x_i}{\bar{X}}$ ),

$n$  – число лет наблюдений,

$C_v$  – коэффициент вариации.

Расчеты показывают, что при любом коэффициенте  $C_v$  и  $n < 50$  ошибка коэффициента асимметрии составляет десятки и сотни процентов, поэтому на практике коэффициент  $C_s$  определяют по соотношению с коэффициентом  $C_v$  (т.е.  $C_s/C_v$ ), используя способ подбора теоретической кривой обеспеченности к эмпирическим точкам. В качестве расчетного значения принимается такое соотношение, при котором происходит спрямление кривой (если

используется специальная клетчатка) или достигается лучшее соответствие аналитической (теоретической) кривой расположению эмпирических точек.

Точность расчетов зависит от степени изогнутости эмпирической сглаженной кривой обеспеченности и ее конфигурации. Чем ближе вид кривой к прямой, тем надежнее будет результат. Поэтому, определив параметры кривой, следует ее построить и проверить соответствие эмпирическим точкам, особенно на концах распределения.

### ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ.

Найти максимальное и минимальное значение параметра, и ранжировать ряд наблюдения, расположив значения расходов по убыванию значения  $X_{убыв}$ .

Найти значение среднего арифметического ряда наблюдений, значение среднеквадратического отклонения. По данным расчетов определить коэффициент вариации (формула 1).

Для ранжированного ряда рассчитать значения модульного коэффициента обеспеченности  $k_i$ .

Определить значение коэффициента асимметрии  $C_s$  (формула 2).

Составить таблицу (табл.1) для расчетов параметров.

Таблица 1

Расчет параметров методом наибольшего правдоподобия

№ пп	$X_i$	$X_{убыв}$	$k_{убыв} = \frac{X_{убыв}}{\bar{X}}$	$Lg k$	$klgk$	$p = \frac{m-0,3}{n+0,4} 100$
1	2	3	4	5	6	7

Построить теоретическую кривую с использованием нормированных отклонений  $\Phi$  ( $P, C_p$ ).

По значению  $C_s$  (таблица Приложение 1) определить значения нормированных отклонений  $\Phi$  при вероятности  $P \% 1, 5, 10, 50, 80, 95, 99 \%$  обеспеченности. В таблице значения  $\Phi$  даются для дискретных значений  $C_s$ , поэтому значения  $\Phi_{p\%}$  для нужного значения  $C_s$  можно найти методом интерполяции, например,  $C_s$  равно 0,25, а имеются значения 0,2 и 0,3. Тогда берем значения отклонений  $\Phi$  для  $C_s$  0,2 и 0,3, например, 3,33 (0,1% обеспеченности) и 3,52. Для значения  $C_s = 0,25$  нормируемое отклонение составит  $(3,52 - 3,33) : 2 = 3,43$ .

Составить таблицу для вычисления ординат теоретической кривой (табл. 2).

Таблица 2

## Вычисление ординат теоретической кривой обеспеченности

P, %	1	5	10	25	50	75	90	95	99
$\Phi$									
$k_p = \Phi_p \cdot C_v + 1$									
$X_p = k_p \cdot \bar{X}$									

Рассчитать параметры теоретической кривой графоаналитическим методом.

Вычисляют эмпирическую обеспеченность  $P$  каждого члена статистического ряда по формуле

$$p = \frac{m-0,3}{n+0,4} 100 \%,$$

где  $m$  - порядковый номер ранжированного ряда,  $n$  - число членов ряда.

С графика эмпирической кривой распределения снять координаты при значениях вероятности 5%, 50%, 95%. Значения расходов берутся из убывающего ряда для соответствующего значения вероятности. Например, при числе лет наблюдений накопленные вероятности  $(p = \frac{m-0,3}{n+0,4} 100)$  составят:

$$p_1 = \frac{m-0,3}{n+0,4} 100 = \frac{1-0,3}{30+0,4} 100 = 2,30; p_2 = \frac{2-0,3}{30,4} = 5,59 \text{ и т.д.}$$

Легко заметить, что между 1-м и 2-м членами убывающего ряда расположится значение 5% обеспеченности. Точное значение расхода эмпирической обеспеченности получим путем интерполяции значений признака (расхода).

Аналогично поступают и при вычислении значений признака, соответствующих обеспеченности 50% и 95%.

На специальной клетчатке построить эмпирическую кривую распределения модульного коэффициента обеспеченности.

Рассчитать значения коэффициента скошенности  $S$  ( $S = \frac{X_5 + X_{95} - 2X_{50}}{X_5 - X_{95}}$ ). В таблице нормированных отклонений значения

$S$  размещены в крайнем правом столбце. Проведя прямую линию по строке таблицы, увидим значения  $C_s$  (Приложение 1), кроме того, в предпоследнем столбце этой же таблицы снимают показания разности  $(\Phi_5 - \Phi_{95})$  определить значение коэффициента асимметрии  $C_s$ .

По формулам ( $\sigma = \frac{X_5 - X_{95}}{\Phi_5 - \Phi_{95}}$ ,  $\bar{X} = X_{50} - \sigma X_{50} \Phi_{50}$ ) определить значения

среднеквадратического отклонения  $\sigma$  и среднего значения модульного коэффициента  $k$ , путем замены значений признака на  $k = \frac{X_i}{\bar{X}}$ . Найти значения  $\bar{X}$  и  $C_v$ . Значение среднего  $\bar{X}$  можно получить, преобразовав модульный коэффициент  $k = \frac{X_i}{\bar{X}}$ , т.е.  $\bar{X} = k \cdot X_{p\%}$ . По формуле (2) определить значение  $C_v$ .

Составить таблицу для вычисления ординат теоретической кривой (табл. 3).

Таблица 3

Вычисление ординат теоретической кривой обеспеченности

P, %	1	5	10	25	50	75	90	95	99
S									
$\Phi_5 - \Phi_{95}$									
$\Phi$									
$k_p = \Phi_p \cdot C_v + 1$									
$X_p = k_p \cdot \bar{X}$									

Из построенных теоретических кривых подобрать кривую наилучшим образом подходящую к эмпирической кривой. При этом следует обращать внимание на сходимость теоретических и эмпирических значений на концах эмпирической кривой.

Приложение 1

C <sub>s</sub>	Нормированные отклонения Φ (P, Cp)										
	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
0,10	3,94	3,23	2,40	1,92	1,67	1,29	0,84	0,66	0,51	0,24	-0,02
0,20	4,16	3,33	2,47	1,96	1,70	1,30	0,83	0,65	0,50	0,22	-0,03
0,30	4,38	3,52	2,54	2,00	1,72	1,31	0,82	0,64	0,48	0,20	-0,05
0,40	4,61	3,66	2,61	2,04	1,75	1,32	0,82	0,63	0,47	0,19	-0,07
0,50	4,83	3,81	2,68	2,08	1,77	1,32	0,81	0,62	0,46	0,17	-0,08
0,60	5,05	3,96	2,75	2,12	1,80	1,33	0,80	0,61	0,44	0,16	-0,10
0,70	5,28	4,10	2,82	2,15	1,82	1,33	0,79	0,59	0,43	0,14	-0,12
0,80	5,50	4,24	2,89	2,18	1,84	1,34	0,78	0,58	0,41	0,12	-0,13
0,90	5,73	4,38	2,96	2,22	1,86	1,34	0,77	0,57	0,40	0,11	-0,15
1,00	5,96	4,53	3,02	2,25	1,88	1,34	0,76	0,55	0,38	0,09	-0,16
1,10	6,18	4,67	3,09	2,28	1,89	1,34	0,74	0,54	0,36	0,07	-0,18
1,20	6,41	4,81	3,15	2,31	1,91	1,34	0,73	0,52	0,35	0,06	-0,19
1,30	6,64	4,95	3,21	2,34	1,92	1,34	0,72	0,51	0,33	0,04	-0,21
1,40	6,87	5,09	3,27	2,37	1,94	1,34	0,71	0,49	0,31	0,02	-0,22
1,60	7,09	5,23	3,33	2,39	1,95	1,33	0,69	0,47	0,30	0,00	-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
1,70	7,54	5,50	3,44	2,44	1,97	1,32	0,66	0,44	0,26	-0,03	-0,27
1,80	7,76	5,64	3,50	2,46	1,98	1,32	0,64	0,42	0,24	-0,05	-0,28
1,90	7,98	5,77	3,55	2,49	1,99	1,31	0,63	0,40	0,22	-0,07	-0,29
2,00	8,21	5,91	3,60	2,51	2,00	1,30	0,61	0,39	0,20	-0,08	-0,31
2,1	-	6,04	3,65	2,53	2,01	1,29	0,59	0,37	0,18	-0,10	-0,32
2,2	-	6,14	3,68	2,54	2,02	1,27	0,57	0,35	0,16	-0,12	-0,33
2,3	-	6,26	3,73	2,57	2,01	1,26	0,56	0,32	0,14	-0,13	-0,34
2,4	-	6,37	3,78	2,60	2,00	1,25	0,52	0,29	0,12	-0,14	-0,36
2,5	-	6,50	3,82	2,62	2,00	1,23	0,50	0,27	0,10	-0,16	-0,36
2,6	-	6,54	3,86	2,63	2,00	1,21	0,48	0,25	0,085	-0,17	-0,37
2,7	-	6,75	3,92	2,64	2,00	1,19	0,46	0,24	0,070	-0,18	-0,38
2,8	-	6,86	3,96	2,65	2,00	1,18	0,44	0,22	0,057	-0,20	-0,39
2,9	-	7,00	4,01	2,66	1,99	1,15	0,41	0,20	0,041	-0,21	-0,39
3,0	-	7,10	4,05	2,66	1,97	1,13	0,39	0,19	0,027	-0,22	-0,40
3,1	-	7,23	4,09	2,66	1,97	1,11	0,37	0,17	0,010	-0,23	-0,41
3,2	-	7,35	4,11	2,66	1,96	1,09	0,35	0,15	-0,006	-0,25	-0,41
3,3	-	7,44	4,15	2,66	1,95	1,08	0,33	0,13	-0,022	-0,26	-0,41
3,4	-	7,54	4,18	2,66	1,94	1,06	0,31	0,11	-0,036	-0,27	-0,41
3,5	-	7,64	4,21	2,66	1,93	1,04	0,29	0,085	-0,049	-0,28	-0,42
3,6	-	7,72	4,24	2,66	1,93	1,03	0,28	0,064	-0,072	-0,28	-0,42
3,7	-	7,86	4,26	2,66	1,91	1,01	0,26	0,048	-0,084	-0,29	-0,42
3,8	-	7,97	4,29	2,66	1,90	1,00	0,24	0,032	-0,095	-0,30	-0,42

при обеспеченности P%									$\Phi_5 - \Phi_{95}$	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	3,28	0,00
-0,27	-0,53	-0,68	-0,85	-1,27	-1,61	-1,84	-2,25	-2,95	3,28	0,03
-0,28	-0,55	-0,69	-0,85	-1,26	-1,58	-1,79	-2,18	-2,81	3,28	0,06
-0,30	-0,56	-0,70	-0,85	-1,24	-1,55	-1,75	-2,10	-2,67	3,27	0,08
-0,31	-0,67	-0,71	-0,85	-1,23	-1,52	-1,70	-2,03	-2,54	3,27	0,11
-0,33	-0,58	-0,71	-0,85	-1,22	-1,49	-1,66	-1,96	-2,40	3,26	0,14
-0,34	-0,59	-0,72	-0,85	-1,20	-1,45	-1,61	-1,88	-2,27	3,25	0,17
-0,36	-0,60	-0,72	-0,85	-1,18	-1,42	-1,57	-1,81	-2,14	3,24	0,20
-0,37	-0,60	-0,73	-0,85	-1,17/	-1,38	-1,52	-1,74	-2,02	3,22	0,22
-0,38	-0,61	-0,73	-0,85	-1,15	-1,35	-1,47	-1,66	-1,90	3,21	0,25
-0,39	-0,62	-0,73	-0,85	-1,13	-1,32	-1,42	-1,59	-1,79	3,20	0,28
-0,41	-0,62	-0,74	-0,85	-1,10	-1,28	-1,38	-1,52	-1,68	3,17	0,31
-0,42	-0,63	-0,74	-0,84	-1,08	-1,24	-1,33	-1,45	-1,58	3,16	0,34
-0,43	-0,63	-0,74	-0,84	-1,06	-1,20	-1,28	-1,38	-1,48	3,14	0,37
-0,44	-0,64	-0,73	-0,83	-1,04	-1,17	-1,23	-1,32	-1,39	3,12	0,39
-0,45	-0,64	-0,73	-0,82	-1,02	-1,13	-1,19	-1,26	-1,31	3,09	0,42
-0,46	-0,64	-0,73	-0,81	-0,99	-1,10	-1,14	-1,20	-1,24	3,07	0,45
-0,47	-0,64	-0,72	-0,81	-0,97	-1,06	-1,10	-1,14	-1,17	3,04	0,48
-0,48	-0,64	-0,72	-0,80	-0,94	-1,02	-1,06	-1,09	-1,11	3,01	0,51
-0,48/	-0,64	-0,72	-0,79	-0,92	-0,98	-1,01	-1,04	-1,05	2,98	0,54
-0,49	-0,64	-0,71	-0,78	-0,90	-0,95	-0,97	-0,99	-1,00	2,95	0,57
-0,50	-0,64	-0,70	-0,76	-0,867	-0,914	-0,930	-0,945	-0,952	2,92	0,59
-0,50	-0,64	-0,69	-0,75	-0,842	-0,882	-0,895	-0,905	-0,909	2,89	0,62
-0,50	-0,63	-0,68	-0,74	-0,816	-0,850	-0,859	-0,867	-0,870	2,86	0,64
-0,51	-0,62	-0,67	-0,72	-0,792	-0,820	-0,827	-0,832	-0,833	2,82	0,67
-0,51	-0,62	-0,66	-0,71	-0,768	-0,790	-0,795	-0,799	-0,800	2,79	0,69
-0,51	-0,61	-0,66	-0,70	-0,746	-0,763	-0,766	-0,769	-0,769	2,76	0,72
-0,51	-0,61	-0,65	-0,68	-0,724	-0,736	-0,739	-0,740	-0,741	2,74	0,74
-0,51	-0,60	-0,64	-0,67	-0,703	-0,711	-0,713	-0,714	-0,714	2,71	0,76
-0,51	-0,60	-0,63	-0,65	-0,681	-0,688	-0,689	-0,690	-0,690	2,68	0,78
-0,51	-0,59	-0,62	-0,64	-0,661	-0,665	-0,667	-0,667	-0,667	2,64	0,80
-0,51	-0,58	-0,60	-0,62	-0,641	-0,644	-0,645	-0,645	-0,645	2,62	0,81
-0,51	-0,57	-0,59	-0,61	-0,622	-0,625	-0,625	-0,625	-0,625	2,59	0,83
-0,50	-0,56	-0,58	-0,59	-0,604	-0,606	-0,606	-0,606	-0,606	2,66	0,85
-0,50	-0,55	-0,57	-0,58	-0,587	-0,588	-0,588	-0,588	-0,588	2,63	0,86
-0,50	-0,54	-0,55	-0,56	-0,570	-0,571	-0,571	-0,571	-0,571	2,50	0,87
-0,49	-0,54	-0,54	-0,55	-0,555	-0,556	-0,556	-0,556	-0,556	2,48	0,89
-0,48	-0,52	-0,53	-0,54	-0,540	-0,541	-0,541	-0,541	-0,541	2,45	0,90
-0,48	-0,51	-0,52	-0,52	-0,526	-0,526	-0,526	-0,526	-0,526	2,43	0,91

## 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ В РЕКЕ ПРИ ОТСУТСТВИИ (НЕДОСТАТОЧНОСТИ) ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ РАСХОДОВ

Целью работы является ознакомление с методами определения параметров речного стока при недостаточности (отсутствии) данных систематического наблюдения за режимом стока.

Задачи работы:

1. Определение площади водосбора исследуемой реки
2. Определение параметров модуля стока
3. Определение расходов различной обеспеченности

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Во многих случаях необходимость использования поверхностного стока приводят к тому, что требуется выполнить расчеты нормы стока для малоизученных рек. Малая изученность рек характеризуется относительно небольшим периодом наблюдений, либо их полным отсутствием.

При небольшом периоде наблюдений используется метод расчетов по реке-аналогу.

Главным и наиболее объективным критерием правильности выбора реки-аналога является наличие синхронности колебаний годовых расходов или модулей стока и надежной коррелятивной 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 или интегральным кривым

Расход воды в реке заданной обеспеченности в выбранном створе определяется по формуле

$$Q_{i\%} = Q_{i\%a} \frac{Q_{50a}}{Q_{50p}}, \quad (1)$$

$Q_{ia}$  – расход воды в реке-аналоге различной обеспеченности,

$Q_{ip}$  – расход воды в исследуемой реке,

50% соответствует норме расхода (стока).

Определение коэффициентов вариации и асимметрии производится с использованием зависимостей вида

$$C_{vp} = C_{va} \frac{Q_{50a}}{Q_{50p}}, \quad (2)$$

где  $C_{vp}$  – коэффициент вариации исследуемой реки в определенном створе,

$C_{va}$  – коэффициент вариации реки-аналога.

При отсутствии данных наблюдений коэффициент вариации может быть определен по формуле



4. По схеме расчета ординат теоретической кривой обеспеченности рассчитывают значения модульных коэффициентов  $K_p$  и расходов заданной обеспеченности  $Q_p$  (табл. 2)  $K_p = \Phi_p \cdot C_v + 1$ .
5. Для дальнейших расчетов (допустимости сброса) принимают значения  $Q_{95}$

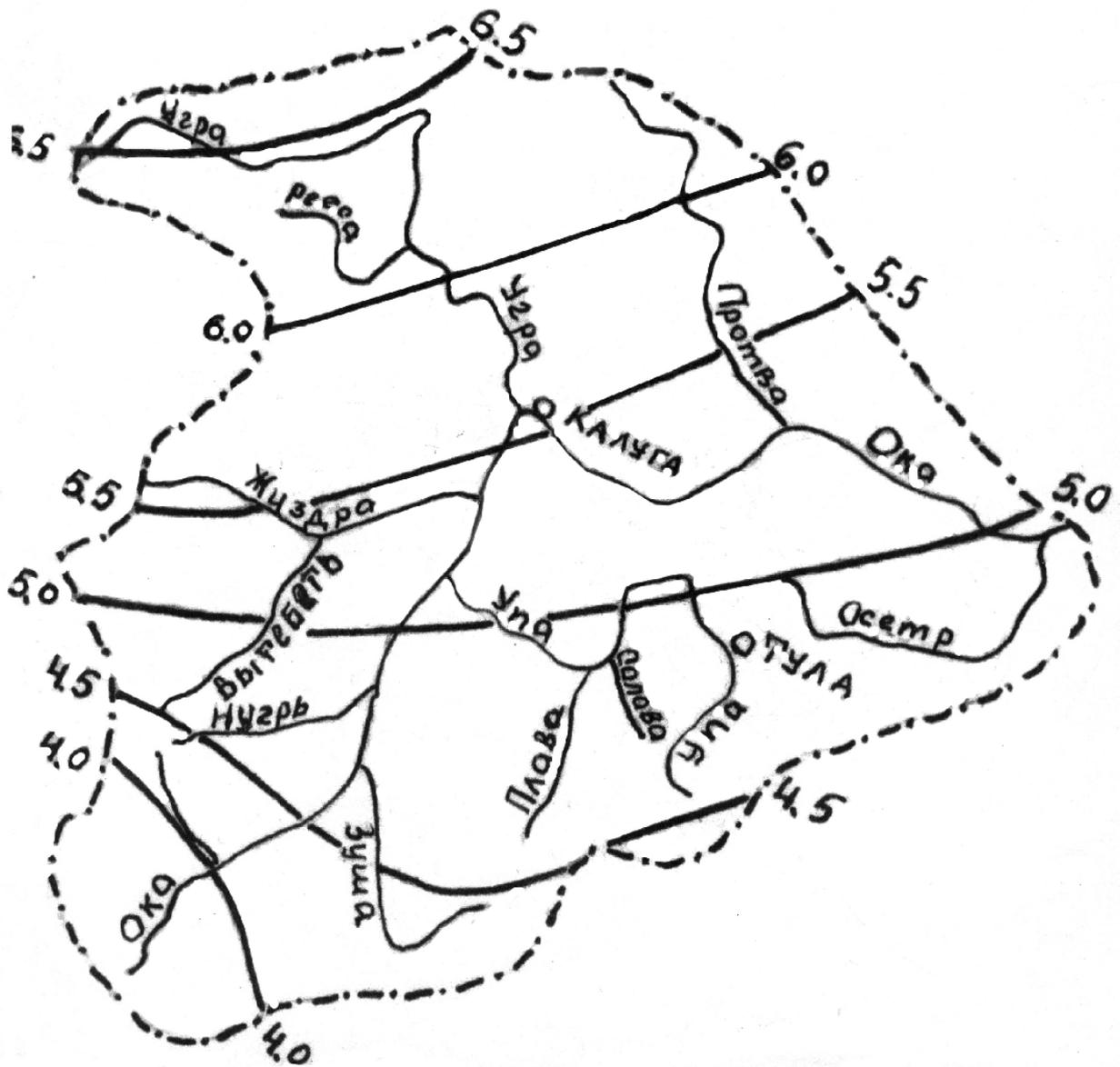


Рис. 1. Модуль годового стока рек Тульской области

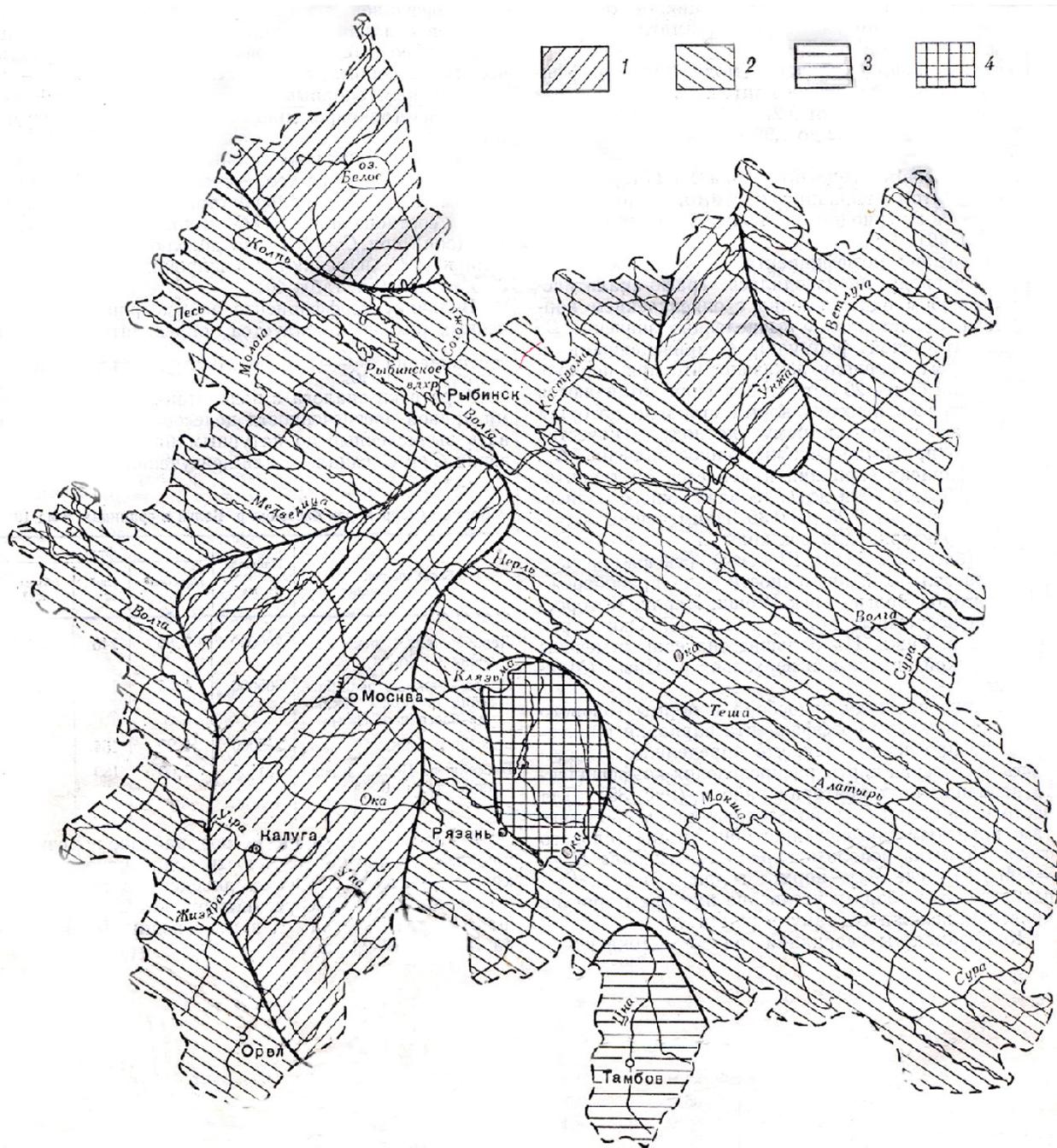


Рис. 2. Коэффициент вариации годового стока  
 1- 0,25; 2 – 0,30; 3 – 0,35; 4 – 0,40

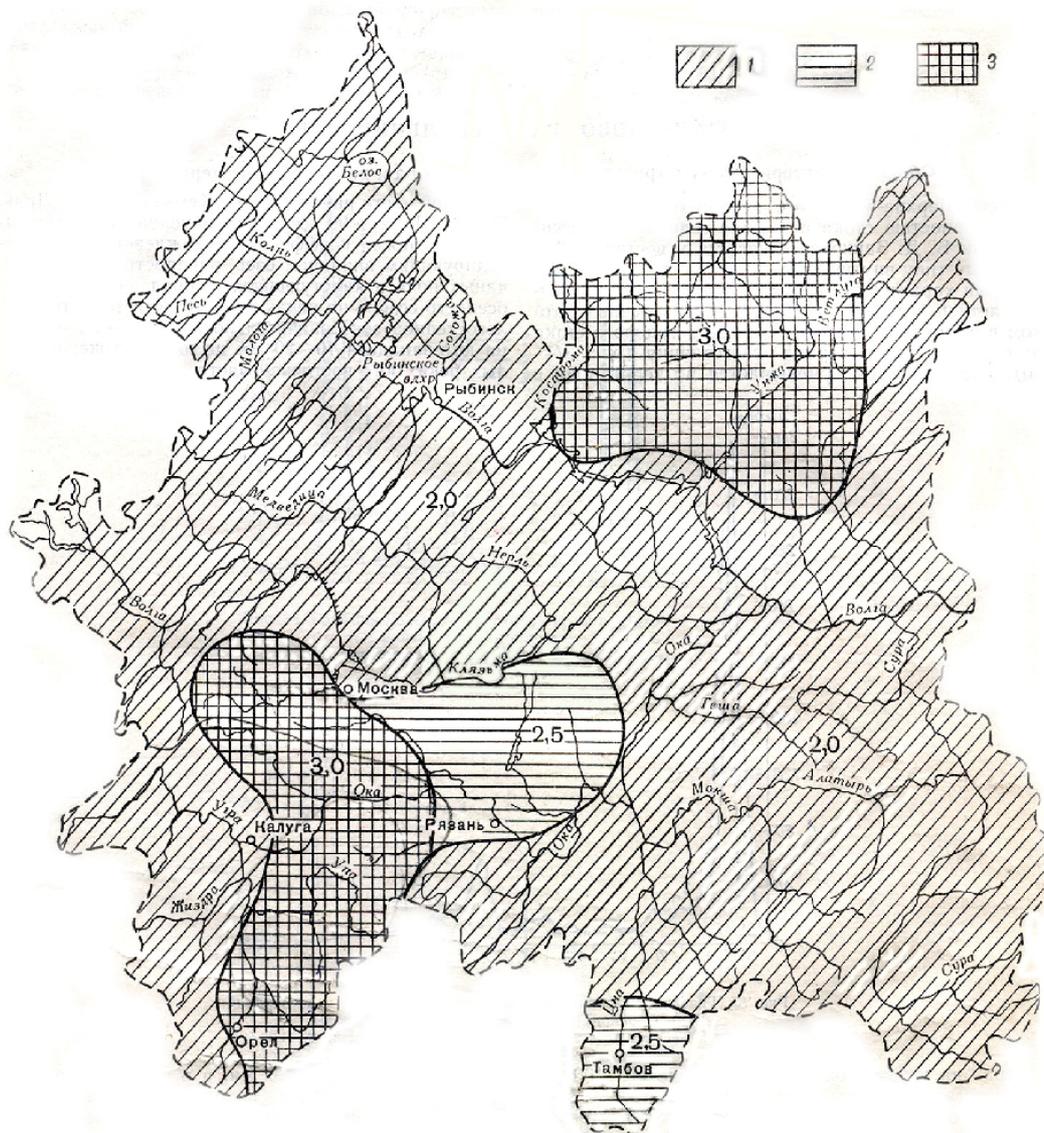


Рис. 3. Карта соотношений  $C_s/C_v$  годового стока для центральной части России  
 1 -  $C_s = 2 C_v$ ; 2 -  $C_s = 2,5 C_v$ ;  $C_s = 3 C_v$ ;

## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

Целью работы является ознакомление с методиками расчета интенсивности потока вод, формирующихся на поверхности промышленной площадки.

Задачи работы: установление направления движения поверхностных вод по территории промышленной площадки;

- определение интенсивности поверхностного стока;
- определение параметров загрязнения поверхностного стока.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Поверхностный поток считается неорганизованным, т.к. выпадающие осадки являются случайной величиной, параметры которой зависят, в свою очередь, от климатических факторов, продолжительности выпадения осадков и т.д. Случайные величины могут быть распределены по какому-либо закону и классифицированы по обеспеченности.

Для небольших площадок наиболее интенсивный поток формируется при выпадении дождевых осадков интенсивностью 1% обеспеченности. Для расчетов дождевой сети на промплощадке используем метод расчета по предельной интенсивности согласно СНиП 2. 04.-03-85.

Порядок и особенности определения массы сброса загрязняющих веществ осуществляют по методике [5] для промышленно-урбанизированных территорий (земли, занятые промышленными, транспортными, торгово-складскими и иными несельскохозяйственными предприятиями и организациями).

Масса сброса загрязняющих веществ с неорганизованным стоком с территории (водосбора) природопользователя определяется по формуле:

$$M_i = S * (W_d * m_{id} + W_m * m_{im}) * 10^{-6} + S_n * W_n * m_{in} * 10^{-6}, \quad (1)$$

где:  $S$  - площадь территории (водосбора) природопользователя, га;

$W_d, W_m, W_n$  - объем стока соответственно дождевых, талых и поливочных вод, м<sup>3</sup>/га;

$m_{id}, m_{im}, m_{in}$  - концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества в стоке соответственно дождевых, талых и поливочных вод, мг/л;

$S_n$  - площадь водонепроницаемых покрытий, подвергающихся мокрой уборке, га.

Площади водонепроницаемых покрытий (дороги, площадки и т.п.) и общая площадь территории природопользователя, на которой

формируется загрязненный поверхностный сток, определяются по данным генерального плана землеустройства, а при его отсутствии - по данным формы статистической отчетности N 22 "Отчет об использовании земель", утвержденной постановлением Госкомстата от 27.08.98 г. N 90.

Объем стока дождевых вод определяется:

$$W_d = 2,5 * H_d * K_q * K_{вн}. \quad (5)$$

где:  $H_d$  - слой осадков за теплый период со средними температурами выше  $0^{\circ}\text{C}$ , определяется по данным метеорологических наблюдений территориального органа Гидрометеослужбы, мм;

$K_q$  - коэффициент, учитывающий объем стока дождевых вод в зависимости от интенсивности дождя для данной местности продолжительностью 20 мин. при периоде однократного превышения расчетной интенсивности дождя равном 1 году ( $q_{20}$ ) определяется по данным нижеприведенной таблицы.

Таблица 1

$q_{20}$	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
$K_q$	0,96	0,91	0,87	0,82	0,78	0,75	0,71	0,68	0,65	0,60

$K_{вн}$  - коэффициент, учитывающий интенсивность формирования дождевого стока в зависимости от степени распространения водонепроницаемых поверхностей  $\Pi_{вн}$  (кровли зданий, дороги, площадки, тротуары и т.п.) на площади водосбора, определяется по данным нижеприведенной таблицы.

Таблица 2

$\Pi_{вн}$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$K_{вн}$	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2

Объем стока талых вод определяется:

$$W_m = H_m * K_m * K_v, \quad (6)$$

где:  $H_m$  - слой осадков за холодный период со средними температурами ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , определяется по данным метеорологических наблюдений территориального органа Гидрометеослужбы, мм;

$K_m$  - коэффициент, учитывающий объем стока талых вод в зависимости от условий снеготаяния, определяется по нижеприведенной таблице.

Таблица 3

Зоны по условиям весеннего стока талых вод	1	2	3	4
Значение коэффициента $K_t$	0,47	0,56	0,69	0,77

$K_v$  - коэффициент, учитывающий вывоз снега с территории природопользователя. При отсутствии вывоза коэффициент принимается равным 10 с уменьшением его значения пропорционально объему вывоза снега.

Объем стока поливомоечных вод определяется:

$$W_{п} = 10 * q * N * K_{пм}, \quad (7)$$

где:  $q$  - расход воды на одну поливку (мойку) твердых покрытий за отчетный период принимается по данным учета или в размере 1,2-1,3 л/кв.м.;

$N$  - количество поливок (моек) в год принимается по данным учета или в соответствии с нормативными документами, регламентирующими правила эксплуатации промплощадок;

$K_{пм}$  - коэффициент стока поливомоечных вод принимается равным 0,5.

Предельно допустимую массу неорганизованного сброса загрязняющих веществ рекомендуется рассчитывать при уровне содержания в дождевых, талых и поливочных водах основных загрязняющих веществ (взвешенных веществ, нефтепродуктов, легкоокисляемых органических соединений по БПК и ХПК, сульфатов, хлоридов, общего и аммонийного азота, нитратов, нитритов, соединений калия, магния, железа, меди, никеля, цинка, фосфора), не превышающем их средние фоновые концентрации в поверхностном стоке на застроенных участках с высоким уровнем благоустройства

Массу неорганизованного сброса загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов рекомендуется рассчитывать при уровне содержания в дождевых, талых и поливочных водах основных загрязняющих веществ, превышающем их средние фоновые концентрации в поверхностном стоке на застроенных участках с высоким уровнем благоустройства, либо при наличии специфических загрязняющих веществ. При этом особое внимание рекомендуется уделять токсичным веществам, которые в значительных количествах содержатся в исходном сырье, используемом в производстве.

При отсутствии аналитического контроля за поверхностным стоком плановые (нормативные) концентрации загрязняющих веществ, в обязательном порядке включаемые в расчеты для всех природопользователей для определения предельно допустимой и в пределах лимита масс их сброса, принимаются на основании данных, рекомендованных методикой [5] (табл. 4), а фактические

концентрации загрязняющих веществ, на уровне принимаемых для определения массы их сброса в пределах лимита.

Таблица 4

Ингредиенты	Дождевые воды	Талые воды	Поливочные воды
Взвешенные вещества	250	3500	500
Нефтепродукты	10	30	30
БПК	30	90	100
ХПК	100	250	100
Сульфаты	100	500	100
Хлориды	200	1500	200
Азот аммонийный	2	4,3	2
Азот общий	4,9	10,5	4,9
Нитраты	0,08	0,17	0,08
Нитриты	0,08	0,17	0,08
Кальций	43	113	43
Магний	8	14	8
Железо	03	1,7	0,3
Медь	0,02	0,076	0,02
Никель	0,01	0,02	0,01
Цинк	0,3	0,55	0,3
Фосфор общий	1,08	1,08	1,08

## ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Определить объемы ливневых, талых, поливочных вод, стекающих с промышленной площадки для каждой группы площадок с характерными признаками стока.
2. Определить объем загрязнений, поступающих с поверхностным стоком.

## 7. РАСЧЕТ НОРМАТИВНО ДОПУСТИМОГО СБРОСА

В соответствии с ГОСТ 17.1.01-77 (п. 39) под нормативно-допустимым сбросом (НДС) вещества в водный объект понимается масса веществ в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте.

Нормирование качества воды состоит в установлении совокупности допустимых показателей состава и свойств воды водных объектов, в пределах которых надежно обеспечивается здоровье населения, необходимые условия водопользования и благополучное состояние водного объекта. Нормы качества поверхностных вод устанавливаются для условий хозяйственно-питьевого, коммунально-бытового и рыбохозяйственного водопользования.

### Методическая основа расчета НДС

Величины НДС определяются для всех категорий водопользователей как произведение максимального часового расхода сточных вод  $Q_{ст}$  ( $м^3/час$ ) на максимально- допустимую концентрацию загрязняющего вещества  $C_{max}$ , обеспечивающее нормативное качество воды в контрольных створах с учетом требований изложенных в пункте правовая основа расчета НДС, а затем определяется НДС согласно формуле:

$$НДС = Q_{ст} C_{max} \quad (1)$$

Согласно "Правилам охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами", максимальная концентрация загрязненного вещества  $C_{max}$  на лимитирующем расстоянии от створа водопользования не должна превышать установленных норм (ПДК):

$$C_{max_i}/ПДК \leq 1, \quad (2)$$

где ПДК предельно- допустимая концентрация того же вещества.

При нахождении в водном объекте нескольких веществ с одинаковым лимитирующим признаком вредности (ЛПВ), это требование записывается в следующем виде:

$$\text{Сумма } (C_{max_i}/ПДК_i) < 1, \quad (3)$$

Где  $C_{\max i}$  – макс. допустимая концентрация одного вещества, принадлежащего к рассматриваемой группе ЛПВ;

$ПДК_i$  - предельно допустимая концентрация того же вещества.

При отнесении нормативных требований к составу и свойствам воды водных объектов к самим сточным водам максимально-допустимая концентрация вещества принимается меньшей или равной предельно допустимой концентрации того же вещества  $C_{\max i} \leq ПДК$ . При отнесении нормативных требований к составу и свойствам воды в контрольном створе водопользования основная расчетная формула для определения  $C_{\max}$  без учета неконсервативности вещества имеет вид:

$$C_{\max} = n(ПДК - C_{\text{фон}}) + C_{\text{фон}}, \quad (4)$$

Где  $C_{\text{фон}}$  - фоновая концентрация загрязняющего вещества в водотоке выше выпуска сточных вод;

$n$  - кратность общего разбавления сточных вод в водном объекте.

С учетом неконсервативности загрязняющего вещества расчетная формула имеет вид:

$$C_{\max} = n(ПДК e^{k \cdot t} - C_{\text{фон}}) + C_{\text{фон}}, \quad (5)$$

где  $k$  - коэффициент неконсервативности, 1/сут;

$t$  - время добегающего от места выпуска сточных вод до контрольного створа, сут.

### **Общие обозначения в расчетных формулах**

$n_n$  - коэффициент начального разбавления,

$n_o$  - коэффициент основного разбавления,

$n$  - коэффициент общего разбавления,

$Q_{\text{СТ}}$  - расход сточных вод ( $\text{м}^3/\text{с}$ );

$Q_p$  - расход воды в реке ( $\text{м}^3/\text{с}$ );

$Q_n$  - расход смеси сточных вод и воды водного объекта в пограничном сечении зоны начального разбавления ( $\text{м}^3/\text{с}$ );

$V_p$  - скорость течения реки ( $\text{м}^3/\text{с}$ );

$V_{\text{СТ}}$  - скорость истечения сточных вод ( $\text{м}^3/\text{с}$ );

$C_{\text{СТ}}$  - концентрация в сточных водах (мг/л);

$C_{\text{фон}}$  - фоновая концентрация (мг/л);

$H$  - средняя глубина водного объекта на расчетном участке (м);

$\pi$  - 3,14;

$D$  - коэффициент турбулентной диффузии ( $\text{м}^2/\text{с}$ );

$C$  - коэффициент Шеши ( $\text{м}^{0,5}/\text{с}$ );

$g$  - ускорение свободного падения = 9,81 ( $\text{м}^2/\text{с}$ );

$B$  - средняя ширина потока (м);

$\varphi$  - коэффициент извилистости реки;  
 L - расстояние от места выпуска до расчетного створа (м).

Расчеты предельно допустимых сбросов целесообразно разобрать на конкретном примере, например, сбросе от теплоэнергетического предприятия в р. Уперту.

### Анализ фоновой загрязненности водоприемника р. Уперта

№	Наименование вещества	<i>ПДК</i> (мг/л)	Фон. конц. (мг/л)	ЛПВ
1	БПК полн.	3	1,38	Нет
2	Взвешенные вещества	+0.75	33,5	Нет
3	Растворенный кислород	>6	11,2	Нет
4	Сухой остаток	1000	830,0	Общесанитарный
5	ХПК	30	42,0	Общесанитарный
6	Нефтепродукты	0,05	0,38	Токсикологический
7	Азот нитратный	3,3 0,08	0,96	Санитарно-токсикологический Токсикологический
8	СПАВ	0,1	0,08	Санитарно-токсикологический
9	Фосфаты	0,05	0,042	Санитарно-токсикологический
10	Хлориды	350	78,3	Санитарно-токсикологический
11	Азот аммонийный	0,05	0,04	токсикологический
12	Азот нитритный	0,02	0,068	токсикологический
13	Железо	0,1	0,27	токсикологический
14	Медь	0,001	0,0026	токсикологический
15	Сульфаты	100	115,0	токсикологический
16	Фториды	0,05	0,26	токсикологический
17	Хром 3-х валентный	0,07	0,0016	токсикологический
18	Цинк	0,01	0,0088	токсикологический

### Токсикологическая группа

В данной группе 8 веществ: (азот аммонийный, азот нитритный, железо, медь, сульфаты, фториды, хром 3-х валентный, цинк)

$$\frac{C_{\text{NH}_4}}{\text{ПДК}_{\text{NH}_4}} + \frac{C_{\text{NO}_3}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_3}} + \frac{C_{\text{Fe}}}{\text{ПДК}_{\text{Fe}}} + \frac{C_{\text{Cu}}}{\text{ПДК}_{\text{Cu}}} + \frac{C_{\text{SO}_4}}{\text{ПДК}_{\text{SO}_4}} + \frac{C_{\text{F}}}{\text{ПДК}_{\text{F}}} + \frac{C_{\text{Cr}}}{\text{ПДК}_{\text{Cr}}} + \frac{C_{\text{Zn}}}{\text{ПДК}_{\text{Zn}}} \leq 1,$$
$$\frac{0,04}{0,05} + \frac{0,068}{0,02} + \frac{0,27}{0,1} + \frac{0,0026}{0,001} + \frac{115,0}{100} + \frac{0,26}{0,05} + \frac{0,0016}{0,07} + \frac{0,0088}{0,01} = 16,75 > 1.$$

Самоочищающая способность водного объекта по токсикологическому показателю вредности исчерпана.

$$\sum \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} > 1.$$

### Санитарно токсикологическая группа

В данной группе 4 вещества (аммоний нитратный, СПАВ, фосфаты, хлориды)

$$\frac{C_{\text{NO}}}{\text{ПДК}_{\text{NO}}} + \frac{C_{\text{PO}}}{\text{ПДК}_{\text{PO}}} + \frac{C_{\text{Cl}}}{\text{ПДК}_{\text{Cl}}} + \frac{C_{\text{СПАВ}}}{\text{ПДК}_{\text{СПАВ}}} \leq 1,$$

$$\frac{0,96}{3,3} + \frac{0,042}{0,2} + \frac{78,3}{350} + \frac{0,08}{0,1} = 1,52 > 1.$$

$$\sum \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} > 1.$$

Самоочищающая способность водного объекта по санитарно-токсикологическому показателю вредности исчерпана.

### Рыбохозяйственная группа

В данной группе одно вещество (нефтепродукты)

$$\sum \frac{C_{\text{нефт}}}{\text{ПДК}_{\text{нефт}}} \leq 1.$$

$$\sum \frac{0,38}{0,05} = 35.$$

$$\sum \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} > 1.$$

Самоочищающая способность водного объекта по рыбохозяйственному показателю вредности исчерпана.

### Общесанитарная группа

В данной группе 2 вещества: (сухой остаток, ХПК.)

$$\frac{C_{\text{сух.ост}}}{\text{ПДК}_{\text{сух.ост}}} + \frac{C_{\text{ХПК}}}{\text{ПДК}_{\text{ХПК}}} \leq 1,$$

$$\frac{830}{1000} + \frac{42}{30} = 2,23 > 1.$$

$$\sum \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} > 1.$$

Самоочищающая способность водного объекта по общесанитарному показателю вредности исчерпана.

Расчет по БПК<sub>полн</sub> и взвешенным веществам производится индивидуально.

**В связи с тем, что в настоящее время достигнуть предельно-допустимые концентрации, обеспечивающие вышеуказанные неравенства невозможно, расчет предельно-допустимого сброса производится применительно к самим сточным водам.**

**НОРМАТИВНО ДОПУСТИМЫЙ СБРОС ВЕЩЕСТВ (НДС), ПОСТУПАЮЩИЙ В ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ СО СТОЧНЫМИ ВОДАМИ ПО ВЫПУСКАМ.**

1. Предприятие, организация, учреждение Богородицкое муниципальное теплоэнергетическое предприятие (водовыпуск после БОС- 25 тыс.м<sup>3</sup>/сут)

2. Выпуск №1, категория сточных вод: недостаточно очищенные, (бытовые и производственные).

3. Наименование водного объекта, принимающего сточные воды: река Уперта, приток реки Упы.

4. Категория водопользования: 2-я рыбохозяйственная.

5. Фактический расход сточных вод: 318.61 м<sup>3</sup>/час, 7647.64 м<sup>3</sup>/сутки, 2791 тыс. м<sup>3</sup>/год.

6. Утвержденный расход сточных вод для установления НДС: 447,094 м<sup>3</sup>/ час 10730.24 м<sup>3</sup>/ сутки, 3916.54 м<sup>3</sup>/ год.

7. Утвержденный предельно- допустимый сброс и состав сточных вод. (сброс веществ, не указанных ниже запрещен).

№	Показатели состава сточных вод	Фактическая концентрация, мг/л	Фактический сброс г/час	Допустимая концентрация, мг/л	Предельно-допустимый сброс	
					г/час	т/год
1	Взвешенные вещества	7.2	2294.0	7.2	3219.1	28.200
2	БПК полн.	8.5	2708.2	3	1341.3	11.750
3	Сухой остаток	1000	318610.0	1000	447094.0	3916.540
4	Азот аммиака	0.39	124.26	0.39	1744	1.527
5	Азот нитратов	8.00	2548.9	9.1	4068.6	35.640
6	Азот нитритов	0.01	3.19	0.02	8.94	0.078

7	Сульфаты	159.1	50690.8	100	44709.4	391.654
8	Хлориды	180	57349.8	300	134128.2	1174.962
9	Фосфаты	2.01	640.4	0.2	89.4	0.783
10	АПВ	0.02	63.7	0.1	44.71	0.392
11	Нефтепродукты	0.1	31.9	0.05	22.4	0.196
12	Железо общее	0.28	89.2	0.1	44.71	0.392
13	Цинк	0.01	3.19	0.01	4.47	0.039
14	Медь	0.002	0.64	0.001	0.45	0.004
15	Никель	0.01	3.19	0.01	4.47	0.039
16	Хром 3 <sup>+</sup>	0.01	3.19	0.07	31.3	0.274
17	Хром 6 <sup>+</sup>	0.01	3.19	0.02	8.94	0.078
18	Фториды	0.75	239.0	0.75	335.3	2.937

Нормативно допустимые значения концентраций по отдельным компонентам рассчитываются путем преобразования формул предельного равновесия

$$C_{ст} Q_{ст} + C_p \gamma Q_p < (\gamma Q_p + Q_{ст}) C_{пд}, \quad (6)$$

где  $C_{ст}$ ,  $C_p$ ,  $C_{пд}$  – концентрации веществ в сточных водах, реке, предельно допустимые, соответственно,

$Q_{ст}$ ,  $Q_p$  – расходы воды в стоке, реке, соответственно.

$\gamma$  - коэффициент смешения, показывающий какая часть речного стока смешивается со сточной жидкостью. Коэффициент смешения зависит от гидрологических характеристик реки и удаления контрольного створа от места выпуска.

Коэффициент смешения равен:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{l}}}{1 + \frac{Q_p}{Q_{ст}} e^{-\alpha \sqrt[3]{l}}}, \quad (7)$$

где  $l$  - расстояние до контрольного створа,

$\alpha$  - коэффициент, учитывающий гидрологические характеристики реки: коэффициент извилистости -  $\phi$ , коэффициент турбулентной диффузии  $D$ , характер выпуска стока в реку  $\xi$ . При выпуске стоков с берега  $\xi = 1$ , при выпуске в фарватер потока  $\xi = 1,5$ .

$$\alpha = \varphi \xi \sqrt[3]{\frac{D}{Q_{cm}}}, \quad (8)$$

коэффициент турбулентной диффузии определяется по формуле:

$$D = \frac{Q_{cm} V_p H}{37 n_{ш} C^2}, \quad (9)$$

где  $g$  - ускорение свободного падения,  $V_p$  - скорость потока и  $H$  - средняя его глубина;

$n_{ш}$  - коэффициент шероховатости ложа реки, определяемый по табл. М.Ф. Срибного,

$C$  - коэффициент Шези.

Правила по охране поверхностных вод разрешают спуск сточных вод в водоем при условии не превышения ПДК в контрольном створе:

$$C_{cm} = \frac{\gamma Q_p}{Q_{cm}} (C_{cm} - C_p) + C_{нд}, \quad (10)$$

где  $C_{ст}$ ,  $C_p$ ,  $C_{нд}$  - концентрация сбрасываемого вещества в сточных водах, в реке выше сброса и предельно допустимая, соответственно.

При расчетах концентраций в поле сброса и разбавления часто возникает ситуация превышения того или иного вещества в сточных водах. В результате встает задача определения степени доочистки сточных вод перед сбросом в водоем. Необходимая степень доочистки стока в общем случае определяется из выражения:

$$D = \frac{C_n - C_d}{C_n} 100\%, \quad (11)$$

где  $C_n$ ,  $C_d$  - концентрация вещества в стоках без доочистки и допустимая по условию достижения ПДС, соответственно.

Расчеты необходимой степени доочистки выполняются по каждому веществу, не обладающему эффектом суммации, по БПК, растворенному кислороду, температуре, активной реакции воды. Для веществ, обладающих эффектом суммации, первоначально расчет выполняется в относительных концентрациях, где значения концентраций и для стока, и для реки назначаются в относительных величинах, кратных ПДК.

## Список использованной литературы:

1. Практикум по инженерной геодезии: Учебное пособие для вузов/Б.Б.Данилевич, В.Ф.Лукьянов, Б.С.Хейфец и др., Под ред. В.Е.Новака. 3-е изд. перераб. и доп.-М.:Недра,1987.-334с.,ил.
2. Гидрологические и водно-балансовые расчеты /Под ред. Н.Г.Галущенко.-К.:Вища школа Головное изд-во, 1987.-248 с.
3. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик /Госстрой СССР.-М.:Стройиздат, 1985.-36 с.
4. Водоотводящие системы промышленных предприятий: Учебн. для вузов/С.В.Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М.Ласков, Ю.В.Воронов; Под ред. С.В.Яковлева.-М.:Стройиздат, 1990.-551 с,ил.
5. Методические указания по расчету платы за неорганизованный сброс загрязняющих веществ в водные объекты (утв. Госкомэкологии РФ 29 декабря 1998 г.)

