

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ» (МГРИ)

Е.А. Абрамова

ПРАКТИКУМ ПО ГИДРОЛОГИИ (ВОДЫ СУШИ)

Москва - 2019

УДК 556
ББК 26.222
А16

Рецензенты

В. Г. Сазонов – к.ф.-м.н., доцент кафедры Естественнонаучных и математических дисциплин МГАВТ – филиала ГУМРФ им. Адмирала С.О. Макарова
В.А. Щерба – к.г.-м.н., доцент департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии РУДН

Абрамова Е.А.

А16 **Практикум по гидрологии (воды суши) / Е.А. Абрамова.**
– М.: Издательство «Научный консультант». – 2019. – 56 с.
ISBN 978-5-907196-30-8

В пособии представлены общие вопросы гидрологии, методы определения морфометрических характеристик водных объектов: рек, их бассейнов, озёр, водохранилищ. Предлагаются традиционные методы расчёта гидрологических характеристик водных объектов, литература, гидрологическая номенклатура, приложения, необходимые для самостоятельной работы студентов.

Практикум предназначен для студентов, обучающихся по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование» (квалификация бакалавр)

УДК 556
ББК 26.222

ISBN 978-5-907196-30-8

© Абрамова Е.А., 2019
© Издательство
«Научный консультант», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Практическая работа № 1. Морфометрические характеристики водотока	5
Практическая работа № 2. Морфометрические характеристики речного водосбора	14
Практическая работа № 3. Определение типов питания реки путём расчленения гидрографа и расчёт гидрологических характеристик	20
Практическая работа № 4. Определение нормы годового стока реки при наличии данных наблюдений	24
Практическая работа № 5. Определение нормы годового стока при отсутствии гидрометрических наблюдений	28
Практическая работа № 6. Морфометрические характеристики водоёма	30
Практическая работа № 7. Строение водохранилища	36
Практическая работа № 8. Построение батиграфической кривой водохранилища	40
Словарь основных терминов и понятий	45
Список использованных источников	49
ПРИЛОЖЕНИЯ	51

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное издание рекомендуется в качестве практикума по гидрологии для студентов, обучающихся по направлению 05.03.06 «Экология и природопользование» (квалификация бакалавр) и предназначено для освоения базового курса «Гидрология».

Практикум содержит различные задания, для выполнения которых необходимо использование картографических и литературных источников, приведённых в библиографическом списке. Каждая практическая работа состоит из двух частей: теоретической и практической. В теоретической части объясняются основные понятия, даются методические рекомендации в соответствии с рабочей программой и стандартами, которые обеспечивают возможность успешного выполнения практической части работы. В практической части предлагается алгоритм выполнения практической работы в виде последовательного решения поставленных задач.

Целью освоения данного курса является получение гидрологических знаний, необходимых для рационального и комплексного использования водных ресурсов, решения экологических проблем.

В результате изучения дисциплины «Гидрология» студент должен иметь представления и знать:

- роль и значение природных вод в географической оболочке;
- сущность основных гидрологических процессов в гидросфере в целом и в водных объектах разных типов;
- основные закономерности географического распространения водных объектов разных типов и их основные гидрологические особенности;
- об основных методах исследования водных объектов;
- о практической значимости гидролого-географического и гидролого-экологического изучения водных объектов, гидрологических процессах для народного хозяйства и решения проблем рационального природопользования.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОТОКА

Цель работы: определить морфометрические характеристики реки.

Оборудование: учебные пособия по гидрологии, физическая карта Московской области, топографические карты рекомендованного масштаба, курвиметр или измерительный циркуль, миллиметровая бумага, калькулятор.

Основные понятия: водные ресурсы, водоток, река, гидрографическая сеть, речная система, длина реки, исток, устье реки, речной сток, коэффициент извилистости реки, русло реки, пойма реки, уклон реки, продольный профиль реки.

Контрольные вопросы

1. Основные морфометрические характеристики водотока.
2. Способы определения длин линий и площадей на карте.
3. Что представляет собой гидрографическая схема реки?
4. Что такое уклон реки, коэффициенты извилистости и густоты речной сети?

Теоретическая часть

1. Основные морфометрические характеристики реки

При изучении водного режима речной системы с целью хозяйственного освоения необходимым условием является определение гидрографических характеристик речной системы.

Под термином «гидрографические характеристики» в соответствии с Руководством (2017) понимают совокупность морфометрических и морфологических элементов водных объектов и их водосборов, которые позволяют определить их характер, форму, размеры, протяжённость, физико-географические особенности. Морфометрические характеристики представляют собой количественные показатели водных объектов и водосборов, а морфологические – качественно-количественные показатели строения поверхности водосборов.

Морфометрические характеристики влияют на формирование стока воды, наносов, развитие водно-эрозионных и русловых процессов.

Состав необходимых морфометрических и морфологических характеристик для гидрологических исследований и расчётов, приня-

тый в Российской Федерации, определен в СП 33-101, СП 11-103 и СП 47.13330.

К морфометрическим (гидрографическим) характеристикам водотоков или речной сети относятся: длина главной реки, км; гидрографическая длина, км; извилистость реки; порядок рек; средний уклон реки; поперечный профиль; продольный профиль.

2. Требования к картографическому материалу

Практически все гидрографические характеристики определяются по топографическим картам крупного масштаба путём выполнения специальных картометрических работ. Данные характеристики могут быть установлены как по бумажным топографическим картам, так и с помощью аэрофотоснимков.

В качестве основных картографических материалов для определения гидрографических и морфометрических характеристик водных объектов и их водосборов используют топографические карты крупного масштаба. Средние погрешности положения на топографической карте объектов и контуров местности относительно ближайших точек плановой съемки по существующим нормативам не должны превышать 0,5 мм в масштабе карты, что соответственно составит: в масштабе 1:10 000 – 5 и 7,5 м; в масштабе 1: 25 000 – 12 и 19 м; в масштабе 1:50 000 – 25 и 38 м; в масштабе 1:100 000 – 50 и 75 м.

Средние погрешности положения горизонталей по высоте в равнинной и холмистой местности не превышают $0,4h$, а в горных районах – h (h – сечение рельефа на данной карте).

Топографические карты среднего масштаба (1:200 000 – 1:300 000) и мелкого масштаба (1:500 000 – 1:1000 000) разрешается использовать только для определения отдельных гидрографических характеристик (площадь, средняя высота и другое) с целью использования их для предварительных расчетов.

Гидрографические характеристики реки и её водосбора определяют по картам, масштабы которых выбирают в зависимости от размера реки и рельефа водосбора в соответствии с рекомендациями в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Масштабы карт, используемых для определения площадей водосборов, длин рек и уклонов

Характер местности	Масштабы карт при площади водосбора, км ²			
	< 10	10-50	50-200	> 200
Равнинные, пустынные и заболоченные слабо-расчленённые районы	1 : 10 000	1 : 25 000	1 : 50 000	1 : 100 000
Горные и холмистые сильно-расчленённые районы	1 : 25 000	1 : 50 000	1 : 100 000	1 : 100 000

3. Особенности определения истоков и устьев водотоков на топографических картах

Определение истока реки по топографическим бумажным картам или с помощью электронных может вызывать затруднения и носить условный характер. На крупномасштабных картах чаще всего показывают все истоки рек. На картах масштаба 1:200 000 и мельче при отборе сохраняются истоки всех больших рек, при этом они могут иметь условный характер и быть смещёнными, поэтому необходимо учитывать принятые правила определения истока рек.

На топографических картах за исток реки следует принимать начало её изображения сплошной или пунктирной линией или родник, если он обозначен как начало реки. При вытекании реки из озера, за её исток принимается точка пересечения линии реки с береговой линией озера или точка пересечения средней линии реки с продолжением береговой линии озера. Если началом реки является болото, то за исток принимается начало сплошной пунктирной линии, изображённой на карте. При образовании реки в результате слияния двух рек, каждая из которых имеет свое название, отличное от названия основной реки, за исток основной реки условно принимается место слияния этих рек.

Определение местоположения устьев рек имеет свои особенности в связи со сложностью и разнообразием их форм. Различают основные типы устьев рек: нормальное, эстуарий, дельта. При установлении местоположения устьев рек, следует учитывать, что дельты и эстуарии относятся к речным образованиям и их нужно включать в длину реки.

Основные правила определения устьев рек заключаются в следующем. Если река изображена двумя линиями и впадает в другой водный объект, в таком случае устьем считается точка пересечения средней линии впадающей реки с береговой линией принимающего водного объекта. При условии, когда устье реки имеет форму дельты, за него принимается место впадения главного рукава дельты. При впадении реки двумя рукавами в разные водотоки, основным из них следует считать более многоводный, а место его впадения принимается за устье. Когда река в нижнем течении образует озеро или разлив, соединённое с морем небольшой протокой, за устье следует принимать устье протоки при впадении её в море. Устьем пересыхающих рек или теряющихся в болотах, условно считается конец обозначающих их на карте сплошных или пунктирных линий.

4. Определение морфометрических характеристик водотоков

4.1. Определение длины водотока

За длину реки принимается протяжённость её изображения на карте от истока до устья, приведённая к натуре в соответствии с масштабом карт. Для сложных гидрологических расчётов требуется определение гидрографической длины реки, которая измеряется от истока самой реки или от истока одной из составляющих, образующей с частью основной реки наибольшую длину русла данной речной системы до устья. Если река изображена двумя линиями, в таком случае за длину принимается длина средней линии реки. В случае, когда ширина реки в масштабе карты достигает 1 см и больше, необходимо провести на карте среднюю линию реки. При разделении на протоки, средняя линия проводится по более многоводному протоку в соответствии с рисунком 1.1.

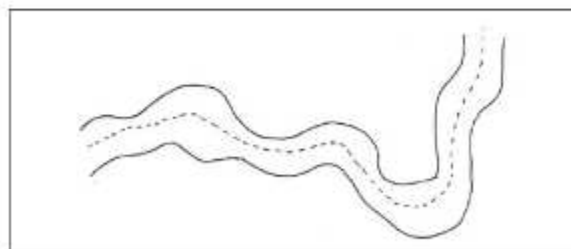


Рисунок 1.1 – Средняя линия реки

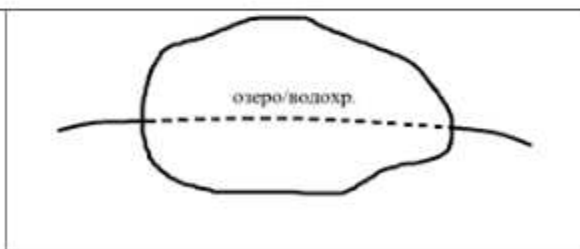


Рисунок 1.2 – Определение длины реки, проходящей через водоём

Когда река протекает через озеро или водохранилище, сохраняя своё название, в длину реки включается и длина озера или водохранилища, между точками впадения и выхода реки по средней линии водоёма или по условной линии, а в гидрографическую длину включается независимо от названия рек между водоёмами (рис. 1.2).

4.2. Извилистость водотока

Для характеристики реки по степени извилистости (криволинейности) плановых очертаний её русла применяется показатель извилистость. Общая извилистость определяется отношением длины реки к длине прямой линии, соединяющей крайние точки характеризуемой реки или её участков (рис. 1.3). Гидрографическая извилистость определяется отношением длины реки к длине её долины или зоны извилистости.

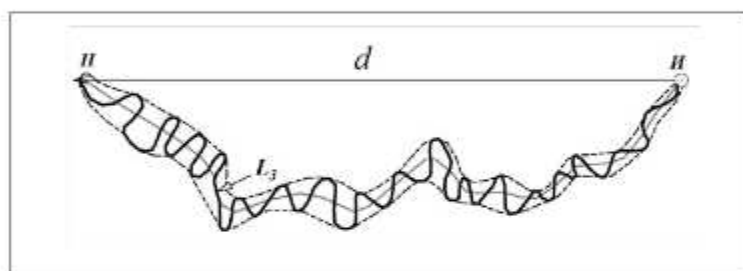


Рисунок 1.3 – Определение извилистости водотоков, расположенных на равнине: И – пункт (устье), И – исток, L_3 – длина зоны извилистости; d – расстояние от истока до устья

Для гидрологических целей определяется только коэффициент гидрографической извилистости. В зависимости от значений коэффициента извилистости выделяют следующие типы рек: прямые, изогнутые, слабоизвилистые, умеренно извилистые, извилистые и сильно извилистые (рис.1.4, табл. 1.2). Значения коэффициента извилистости приводятся с точностью до 0,01.

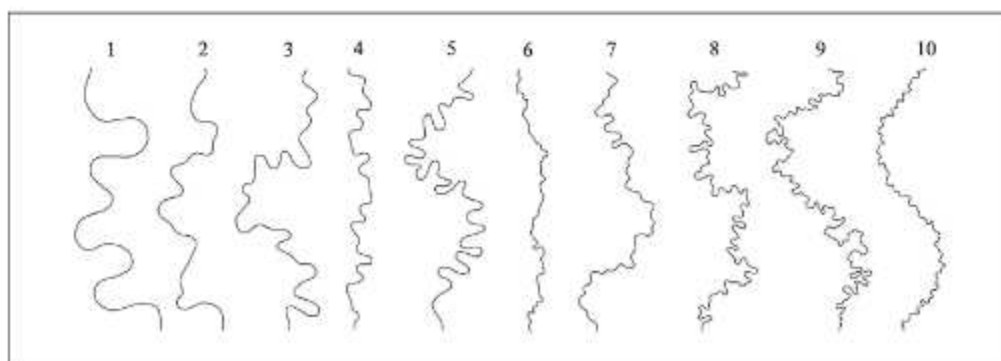


Рисунок 1.4 – Образцы извилистости рек по Ю.М. Шокальскому

Таблица 1.2 – Значения коэффициента извилистости

№ образца	Коэффициент извилистости	Степень извилистости
1	1,00	прямая
2	1,01	
3	1,02	
4	1,03	изогнутая
5	1,05	
6	1,08	
7	1,09-1,20	слабоизвилистая
8	1,21-1,35	умеренно извилистая
9	1,36-1,60	извилистая
10	1,61 и более	сильно извилистая

4.3. Средний уклон реки

Средний уклон реки определяется с помощью данных, полученных при определении отметок высот устья и наиболее удалённого истока речной системы, а также измерений гидрографической длины реки. Значения среднего уклона реки используются при гидрологических расчётах только для рек с относительно ровным профилем на участках, не имеющих притоков.

Средний уклон реки необходимо вычислять и округлять с учётом точности исходных данных. В соответствии с Руководством (2017) степень округления уклонов рек зависит от длины реки и уклона (табл. 1.3).

Таблица 1.3 – Степень округления уклонов рек в зависимости от длины реки

Длина реки (водотока), км	Степень округления для продольных уклонов, %		
	менее 10	10 – 99	100 и более
До 200	0,05	0,5	5
Более 200	0,01	0,1	1

Задание 1. Определить положение истока и устья реки.

Географические координаты истока и устья, а также расчётных створов на реке определяются по картам масштаба 1:100 000 с точностью до 1 минуты, для карт более крупного масштаба с точностью до 10 минут. На картах местоположение принятых истоков отмечается красным кружком диаметром 2 мм, устья реки – красной линией толщиной 0,4 мм.

Задание 2. Определить длину главной реки.

С помощью циркуля-измерителя длина реки определяется следующим образом. Раствор циркуля должен быть равен 2 мм (или 1 мм для точных измерений). Величина раствора тщательно устанавливается перед началом работы и периодически проверяется в её процессе. Промеры выполняются два раза. Вначале от истока к устью, затем в обратном направлении. Расхождение между первым и вторым измерениями не должно превышать 2 %. При измерении длины реки от устья к истоку на карте отмечается число отложений от устья реки до места впадения притоков.

Длина реки вычисляется по формуле:

$$L = naK, \quad (1.1)$$

где n – среднее число отложений раствора циркуля;

a – значение раствора циркуля в масштабе карты, км;

K – поправочный коэффициент Шокальского на извилистость, определяют для каждого участка по рисунку 1.4.

Полученное значение выражается с учетом масштаба карты в километрах и представляет целое число. При выполнении данного условия за окончательное значение длины принимается среднее из двух измерений.

Измерение линий курвиметром производится путём тщательного прокатывания его обводного колёсика по оси изображённой на карте извилистой линии, в результате которого стрелка счетчика будет указывать на циферблате путь, пройденный обводным колёсиком, в сантиметрах. Измерение рекомендуется проводить дважды в разных направлениях. Расхождение значений между отсчётами первого и второго измерения должны быть не более 6% при измерении длин линий менее 10 см, не более 4% – от 10 – 100 см, не более 2% – более 100 см.

Окончательное значение длины вычисляется по формуле:

$$L = (L_{\text{ИЗМ}} - L_{\text{ИЗМ}} \Delta l)m, \quad (1.2)$$

где $L_{\text{ИЗМ}}$ – среднее арифметическое значение длины из двух измерений, см;

Δl – поправка курвиметра на одно деление шкалы, см;

m – именованный масштаб карты.

Задание 3. Вычислить коэффициент извилистости главного русла реки.

Коэффициент извилистости реки определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{ИЗВ}} = L_p / L_n, \quad (1.3)$$

где L_p – измеренная длина всей реки с учётом извилистости, км;

L_n – длина прямой, соединяющей устье и исток (проходит вдоль русла главной реки), км.

С помощью таблицы 1.2 по полученным результатам определить степень извилистости реки.

В пределах широких пойм речные русла могут разветвляться на несколько притоков или рукавов. Коэффициент разветвлённости – это отношение суммы длин всех протоков, включая участок главного русла, к длине участка главного русла и определяется по формуле:

$$K_{\text{ИЗВ}} = (l_1 + l_2 + \dots + l_n + \dots + L_p) / L_p, \quad (1.4)$$

где l_1, l_2, l_n – длина рукавов;

L_p – длина главной реки между точками А и В.

Задание 4. Определить средний уклон реки.

Средний уклон вычисляется по формуле:

$$\Delta h = \frac{(H_B - H_A)}{l}, \quad (1.5)$$

где H_B и H_A – высота истока и устья.

Если длину реки принять в километрах, то уклон выражается в м/км, или промилле, и обозначается знаком ‰.

Задание 5. Построить гидрографическую схему реки.

Гидрографическая схема наглядно отражает строение речной сети. Построение гидрографической сети выполняется в следующей последовательности:

1. Составить список притоков рек главной реки, дополнив данные в таблицу в Приложении 1. Реки в списке помещаются в следующем порядке: главная река, её верхний приток, первый верхний приток этого притока и так далее. Если река образуется от слияния двух водотоков, вначале приводится левый приток и его притоки, а затем правый водоток с притоками. В списке указывается название реки, в которую впадает рассматриваемый водоток, с какого берега впадает, расстояние от устья по главной реке до места впадения притока, длина и площадь рассматриваемого водотока.

2. На горизонтальной линии откладывается общая длина главной реки и отмечают расстояния до впадения притоков.

3. Под углом 45° к прямой откладывают длину притоков и вписывают названия реки и их длину.

Задание 6. Определить коэффициент неравномерности развития речной сети.

Коэффициент определяется по формуле:

$$K_{\text{нер}} = \sum L_{\text{лев}} / \sum L_{\text{прав}}, \quad (1.6)$$

где $\sum L_{\text{лев}}$ и $\sum L_{\text{прав}}$ – сумма длин соответственно левобережных и правобережных притоков, км.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЧНОГО ВОДОСБОРА

Цель работы: определить морфометрические характеристики речного водосбора.

Оборудование: учебные пособия по гидрологии, атлас Московской области, топографические карты рекомендованного масштаба, курвиметр, сеточная палетка, калькулятор.

Основные понятия: река, водосбор, бассейн реки, водораздел, длина бассейна, ширина бассейна, гипсографическая кривая, средняя высота бассейна реки, средний уклон поверхности реки.

Контрольные вопросы

1. Различия в понятиях водосбор и бассейн реки.
2. Охарактеризовать основные морфометрические характеристики бассейна реки.
3. Правила определения границ и площади водосбора.
4. Способы измерения площади водосбора.

Теоретическая часть

1. Основные морфометрические характеристики водосбора

С понятием «бассейн» соотносят основные представления научных направлений, связанных с изучением водных ресурсов. Под бассейном понимается ограниченная водоразделами часть земной поверхности с учётом толщи почвогрунтов, откуда происходит сток в отдельную реку, речную систему, озеро, водохранилище или море.

Понятия водосбор реки и бассейн реки имеют различия. Водосбором, или водосборной площадью бассейна реки называют часть земной поверхности и толщи почв и грунтов, откуда река получает своё питание. Граница водосбора проходит по водоразделу, который совпадает с наивысшими отметками рельефа и разделяет поверхностный сток.

Реки могут питаться за счёт поверхностных и подземных вод, поэтому различают и поверхностный и подземный водосборы. Чаще всего границы водосбора и бассейна реки совпадают. Разделение границ поверхностного и подземного водосбора вызывает затруднение, и при расчётах обычно определяется сток только с поверхностного водосбора, не делая различия между терминами «речной бассейн» и «речной водосбор».

К морфометрическим характеристикам водосборов относятся: площадь км², средняя высота, средний уклон склонов, густота речной сети, площадь замкнутых впадин, координаты гипсографической кривой.

2. Определение морфометрических характеристик водосбора

2.1. Установление границ водосборов водных объектов

Правильное выделение границ водосбора позволяет с точностью определить площадь водосбора и связанные с ней другие характеристики водных объектов. Линия водораздела главной реки и её притоков определяется по топографическим картам, где рельеф изображён горизонталями. Она проводится по наивысшим отметкам с учётом косвенных признаков. При проведении границ водосбора тщательному анализу подлежат все средства изображения рельефа местности: основные, дополнительные и вспомогательные горизонтали, указатели направления течения рек, отметки высот и урезов воды, условные обозначения малых форм рельефа. Измеренные значения площадей водосбора округляются до значений, указанных в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Правила округления значений площадей водосбора

Площадь водосбора, км ²	Степень округления значений, км ²
0 - 10	0,01
10 - 100	0,05
100 - 1 000	1
1 000 - 5 000	5
5 000 - 10 000	10
10 000 и более	50

2.2. Способы определения площадей водосборов

Основной морфометрической характеристикой речного бассейна является его площадь, которая выражается в квадратных километрах, и определяет объём стока, максимальные, минимальные расходы воды в речной сети. Определение площадей водосборов производится по картам, масштабы которых описаны в практической работе №1, п. 2.

Определить площадь водосборной территории можно двумя способами: механическим (планиметрирование) и графическим (использование палеток различных типов). Механическим способом

площади измеряются с помощью планиметров различных систем с одним или двумя счётными механизмами. Использование планиметра требует соблюдения инструкции, прилагаемой к прибору. В ином случае возможны сильные погрешности в вычислении. Картографический материал, при данном способе определения, не должен иметь поверхностных нарушений. Точность измерения площади планиметром зависит также от размера измеряемой площади. Она понижается от 0,15 до 5 % с уменьшением площади участков от 10 до 1 см². Поэтому измерение площади малых водосборов и небольших участков рекомендуется производить с помощью палеток с ценой деления 0,04 см².

Графический способ рекомендуется применять при определении малых площадей размером 1 – 2 дм². При использовании этого метода изготавливается специальная палетка из органического стекла, кальки. Удобнее использовать клетчатую палетку, представляющую сетку взаимно перпендикулярных линий, образующих ячейки квадратной формы. Цена деления (клетки) 0,04 см², то есть стороны ячейки 2 · 2 мм. Цветом и толщиной линий на этих палетках выделены квадраты, объединяющие 25 ячеек, составляющие 1 см².

2.3. Определение длины и ширины бассейна реки

Длина бассейна, являясь характеристикой геометрической формы бассейна, а также средняя и наибольшая ширина бассейна, используются для анализа процессов стекания и формирования гидрографов паводков. Длинной бассейна называется расстояние по прямой от устья реки до наиболее удалённой точки на линии водораздела. Расстояние измеряется по прямой линии, не выходящей за границы бассейна.

2.4. Средняя высота и средний уклон склонов водосбора

Средняя высота водосбора существенно влияет на сток, характер его распределения и на другие гидрологические характеристики.

Уклоны склонов водосбора оказывают существенное влияние на максимальные расходы половодий и паводков. В традиционных методах картометрических работ средний уклон склонов водосбора в ‰ определяется по формуле.

При одинаковом или равномерно изменяющемся интервале между горизонталями рекомендуется измерять длины горизонталей с разрядкой – каждую вторую, третью, четвёртую, но при этом необходимо, чтобы в число измеренных горизонталей вошли наиболее длинная и наиболее короткая на водосборе. В районах со слабо выра-

женным рельефом, с малым количеством горизонталей на картах необходимо использовать не только основные, но и половинные горизонталы с учётом соответствующей высоты сечения рельефа.

2.5. Густота речной сети водосбора

Под густотой речной сети понимается отношение суммы длин всех водотоков на водосборе к его площади. Для определения этой характеристики измеряется суммарная длина всех водотоков: рек, ручьев, проток, каналов и канав в пределах площади водосбора, изображенных на топографической карте соответствующего масштаба сплошными или пунктирными линиями. Густота речной сети даёт удельную протяжённость водотоков, характеризует условия стекания поверхностных вод: чем больше густота речной сети, тем условия стока благоприятнее.

Практическая часть

Задание 1. Определить площадь водосбора реки (в км²).

Определение площади речного бассейна выполняется в следующей последовательности:

1. Определить границу водосбора реки с нанесением водораздельной линии на топографическую карту. Определение водораздельной линии выполнять по тем же топографическим материалам, по которым определяются морфометрические характеристики выбранных водотоков.

2. Измерить планиметром или палеткой площадь по крупномасштабным картам. Палетку накладывают на выбранный участок, подсчитывают число полных клеток палетки в пределах участка. Неполные клетки, расположенные вдоль контура участка, оцениваются и суммируются до целых. Вычисление производится по формуле:

$$F = na^2, \quad (2.1)$$

где n – количество клеток;

a – сторона квадрата (ячейки), км.

3. Определить площадь водосбора с помощью формул (2.2; 2.3). Сравнить полученные результаты. Измеренные значения площадей водосборов округляются до значений, указанных в таблице 2.1.

Зависимость между площадью водосбора F и длиной реки L в классической гидрологии выражаемая в виде степенного уравнения:

$$F = kL^n, \quad (2.2)$$

где k и n – районные параметры.

Поскольку само соотношение (2.2) неодинаково для разных ландшафтов и зависит от размеров площади водосборов, длины рек, методики и точности определения их значений, то эта зависимость определялась по следующему уравнению:

$$F = 0,57L^{1,8} \quad (2.3)$$

Задание 2. Определить длину и ширину бассейна.

Длина бассейна L_6 , обычно определяемая как прямая, соединяющая устье реки и точку на водоразделе, прилегающую к истоку реки. Длину определяют циркулем до водораздельной линии. Средняя ширина бассейна B_{6cp} вычисляемая по формуле:

$$B_{6cp} = F/L_6, \quad (2.4)$$

где F – площадь бассейна, км²;
 L_6 – длина, км.

Задание 3. Определить среднюю высоту водосбора.

Средняя высота водосбора H_6 определяется по формуле:

$$\bar{H}_B = \frac{\sum_{i=1}^n (H_{B,i} + H_{B,i+1})(\Delta F_i)}{2F}, \quad (2.5)$$

где $H_{B,i}$ – высота поверхности горизонтального сечения, м;
 ΔF_i – площадь между двумя соседними горизонталями, км²;
 F – общая площадь водосбора, км²;
 n – число высотных интервалов.

Задание 4. Определить средний уклон поверхности водосбора.

Средний уклон поверхности бассейна определяют по формуле:

$$i_{cp} = \frac{\Delta H}{F} \sum_{i=1}^{n-1} l_i \quad (2.6)$$

где l_i – длины горизонталей;
 ΔH – разность отметок смежных горизонталей (сечение рельефа);

F – полная площадь бассейна;
 n – число высотных интервалов.

Задание 5. Вычислить показатель густоты речной сети (коэффициент густоты речной сети).

Для выполнения этого задания использовать список рек бассейна (Приложение 1), в который необходимо включить водотоки длиной 10 км и более, но также и водотоки меньшей длин, если они имеют водохозяйственное значение.

Показатель густоты речной сети в км/км² определяется по формуле:

$$D = \sum l / F, \quad (2.7)$$

где $\sum l$ – сумма длин всех водотоков, км;

F – площадь бассейна реки, км². Записывается в с округлением до 0,01 км/км².

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВ ПИТАНИЯ РЕКИ ПУТЁМ
РАСЧЛЕНЕНИЯ ГИДРОГРАФА И РАСЧЁТ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы: построение гидрографа реки и выполнение его анализа. Определение типа питания и фаз водного режима реки.

Оборудование: учебные пособия по гидрологии, таблицы с расходом воды, миллиметровая бумага, палетка.

Основные понятия: виды питания рек, водный режим рек, водоносность, речной сток, количественные характеристики стока воды (расход воды, норма годового стока, объем стока, модуль стока, слой стока, коэффициент стока), гидрограф реки, расход воды, фазы водного режима, половодье, паводок, межень.

Контрольные вопросы:

1. Водный режим реки. Классификация рек по водному режиму. Водный режим рек России.
2. Основные фазы водного режима, их элементы.
3. Источники питания рек. Классификация М. И. Львовича по источникам питания.
4. Последовательность расчета объем стока по источникам питания, по фазам водного режима.

Теоретическая часть

Годовой сток является интегральной характеристикой речного стока и позволяет судить о водных ресурсах речного бассейна и региона в целом. Изменения в годовом стоке происходят под влиянием климатических условий и хозяйственной деятельности. Использование ресурсов реки требует знания её водного режима, а именно наступление и окончание половодий, паводков, межени, время установления и разрушения ледяного покрова, наличие оттепелей и другие особенности (Приложение 2). В процессе анализа водного режима необходимо установить происхождение источников питания реки, определить её стоквые характеристики. Для таких исследований строятся и анализируются хронологические графики расходов и уровней воды, температур, ледовых явлений.

Гидрограф – хронологический график, показывающий изменение ежедневных расходов воды по времени $Q = f(T)$. На нём отображаются колебания водности реки в различные фазы гидрологического

режима (половодье, паводки, межень) и их продолжительность. По гидрографу определяется объём годового стока реки, стока отдельных месяцев, преобладающий тип питания реки в различные сезоны года. Для рек средней полосы России: снегового, дождевого, подземного.

Количественная оценка различных видов питания реки, выполняемая с помощью гидрографа, определяется за счёт подсчета стока воды после выделения площадей того или иного типа питания путём его расчленения. Расчленение гидрографа – графическое выделение на гидрографе границ объёмов воды, сформированных различными источниками питания.

Чаще всего трудности возникают при выделении подземного питания в период половодья или крупных паводков. В гидрологии используются несколько методов расчленения гидрографа предложенных Б.В. Поляковым, Б.И. Куделиным, М.И. Львовичем, О.В. Поповым. На практике, по мнению Б.В. Полякова, когда не хватает сведений о взаимосвязи речных и грунтовых вод условно принимают величину подземного питания в момент пика половодья, равной нулю. Согласно его методу, подземное питание отделяется на гидрографе от поверхностного отрезками прямой линии, идущими от низкого расхода перед началом половодья до нуля в момент прохождения пика и до низкого расхода воды в конце спада.

Практическая часть

Задание 1. По данным таблицы «Расход воды» построить гидрограф стока реки.

Гидрограф строится на миллиметровой бумаге формата А3. По оси ординат откладываются расходы воды (Q , м³/с), а по оси абсцисс – время (T , сутки). Вертикальный масштаб выбирается в зависимости от величины расходов; горизонтальный – в 1 мм 1 день. Для расходов рекомендуются масштабы в 1 см 0,1; 0,2; 1; 2; 10, 50, 100 и т.д. м³/с. Пользуясь данными таблицы «Расход воды» (Приложение 3), на поле графика наносят в виде точек величины расходов воды за каждые сутки. Последовательно соединив точки плавной линией, получают гидрограф. На гидрографе подписывают: название реки, гидроствор (пункт наблюдения), год наблюдения. Указываются вертикальный и горизонтальный масштабы, легенда.

Задание 2. Расчленить гидрограф по типам питания методом Б.В. Полякова.

Процесс расчленения гидрографа выполняется в следующей по-

следовательности:

1. Выделить поверхностное снеговое питание.

Найти точки А и Б, соответствующие началу и концу половодья. В дату максимального наполнения русла водой (точка В) подземное питание равняется нулю (точка С). Точки А, В, Б соединить прямыми линиями с точкой С. Линия АС показывает сокращение доли подземного питания и увеличение доли поверхностного снегового питания на подъёме половодья, а линия СБ, напротив, увеличение доли подземного питания и сокращение поверхностного снегового питания на спаде половодья. Фигура АВБС выражает период и объём весеннего половодья, а период от А до Б – продолжительность весеннего половодья.

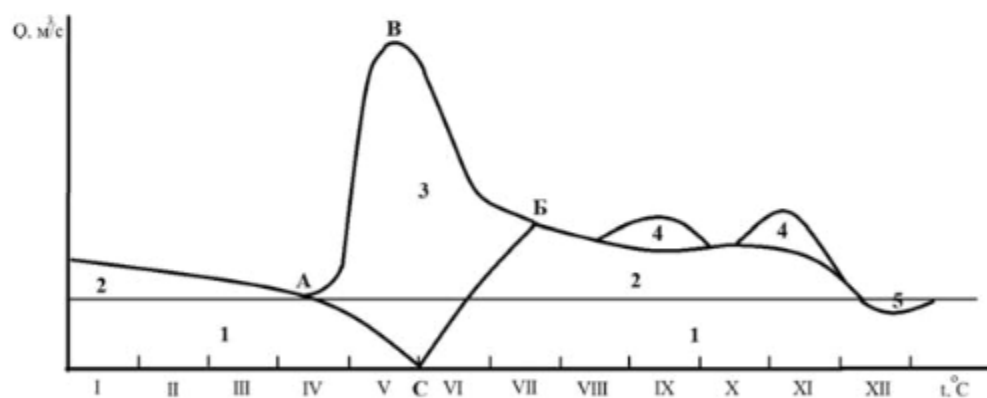
2. Выделить дождевой паводок.

Дождевой паводок срезается по прямой линии от даты подъёма до даты полного спада воды в русле. Паводки непродолжительны по времени и занимают обычно несколько суток (рис. 3.1).

3. Выделить верховое и глубокое подземное питание.

Оставшаяся часть гидрографа представляет собой подземное питание. Верховое и глубокое подземное питание отделяются друг от друга горизонтальной линией, проходящей параллельно оси времени на высоте минимального предполоводного расхода. Линия проводится через фигуру гидрографа, относящегося к периоду межени.

4. Обозначить типы питания на чертеже условными знаками.



Питание: 1 – глубокое подземное питание, 2 – верховое подземное питание, 3 – снеговое половодье, 4 – дождевые паводки, 5 – потери стока воды на образование льда.

Рисунок 3.1 – Схема расчленения гидрографа реки по типам питания (по Полякову Б.В.)

Задание 3. Определить величину каждого типа питания (в км³ и в % от годового стока) и преобладающий тип питания.

После расчленения гидрографа на нем выделяются площади поверхностного снегового, поверхностного дождевого и подземного стока. Площадь фигуры, ограниченная линией гидрографа и осями координат, даст в соответствующем масштабе объем годового стока ($W = Q \cdot T$, м³ или км³). Площадь определяется с помощью палетки. Аналогично по частям гидрографа, изображающим отдельные виды питания, определяется величина стока снеговых, дождевых и подземных вод и доля их (в %) от годового стока в общем питании реки. Результаты расчета заносятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Величина стока снеговых, дождевых и подземных вод, река _____ в створе _____, _____ год

Тип питания	Величина стока, км ³	Величина стока, % от стока за год
Снеговой		
Дождевой		
Подземный		

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМЫ ГОДОВОГО СТОКА РЕКИ
ПРИ НАЛИЧИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Цель работы: вычислить нормы годового стока при наличии длительного периода гидрометрических наблюдений.

Оборудование: учебные пособия по гидрологии, данные среднегодовых расходов воды.

Основные понятия: расход воды, объём стока, слой стока, норма годового стока, модуль стока, уровень воды.

Контрольные вопросы:

1. Величины, характеризующие сток, и их единицы.
2. Водный баланс речного бассейна.
3. Норма годового стока. Причины изменчивости годового стока.

Теоретическая часть

1. Основные гидрологические характеристики реки

Важнейшей гидрологической характеристикой является норма годового стока – среднее арифметическое значение годового стока за многолетний период такой продолжительности, при увеличении которого полученное среднее значение не меняется. Годовой сток рек позволяет количественно оценить гидрологический режим водных объектов за длительный период и является основой при проектировании различных гидротехнических сооружений, водохранилищ.

При расчётах нормы годового стока в зависимости от полноты исходной информации обычно встречаются три случая: имеются материалы продолжительности гидрометрических наблюдений; данных наблюдений недостаточно; гидрометрические наблюдения отсутствуют.

Методы определения нормы годового стока и других расчётных гидрологических характеристик регламентированы СП 33-101-2003 «Определение основных расчётных гидрологических характеристик».

К основным гидрологическим характеристикам относятся: расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; объём стока воды, $\text{м}^3/\text{км}^2$; модуль стока воды, $\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{км}^2$; слой стока воды, мм; уровень воды, см.

Основной единицей измерения стока, характеризующей водность, является расход воды. Выражается в кубических метрах за секунду и определяется в конкретном створе реки в заданный момент времени. Для сопоставления водности реки в створах или различных

реках используются значения среднего расхода воды за конкретный период времени (многолетний, за год, месяц, декаду, сутки).

Величина расхода находится в тесной зависимости от площади водосбора реки, поэтому расходы двух разных рек несравнимы между собой, так как площади их водосборов отличаются. В таком случае для сравнения используют другую гидрологическую характеристику – модуль стока – количество воды, стекающей за одну секунду с единицы площади бассейна реки, или это расход воды с 1 км^2 .

Сток нередко выражают в миллиметрах слоя, при условии, что весь объём стока равномерно распределён по площади. Зная объём стока за какой-либо временной период и площадь водосбора реки можно вычислить и слой стока.

Практическая часть

Задание 1. Определить норму (среднемноголетнее значение) годового стока при наличии продолжительных гидрометрических наблюдений.

Определение нормы годового стока выполняется в следующей последовательности:

1. Пользуясь данными Приложения 4 вычислить среднеарифметический годовой расход по формуле:

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^n Q_i / n, \quad (4.1)$$

где Q – среднегодовые расходы воды, $\text{м}^3/\text{с}$; n – число лет наблюдений.

2. Определить репрезентативность ряда наблюдений с помощью сокращённой интегральной кривой. Чтобы построить сокращённую интегральную кривую, которая отражает цикличность в колебаниях годового стока, выполняют расчёты в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Вычисление ординат сокращённой интегральной кривой

№ п/п	Год	$Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	$K_i = Q_i / \bar{Q}$	$K_i - 1$	$\Sigma (K_i - 1)$
1	1976				
...					
		$\Sigma =$			

По формуле $K_i = Q_i / \bar{Q}$ выполняется замена среднегодовых рас-

ходов относительным стоком – модульным коэффициентом. По формуле $K_i - 1$ находят отклонения годового стока от нормы; по формуле $\sum(K_i - 1)$ – подсчитывают нарастающую сумму отклонений стока за год от его среднемноголетнего значения.

3. По данным таблицы 4.1 построить сокращённую суммарную (интегральную) кривую годового стока (рис. 4.1).

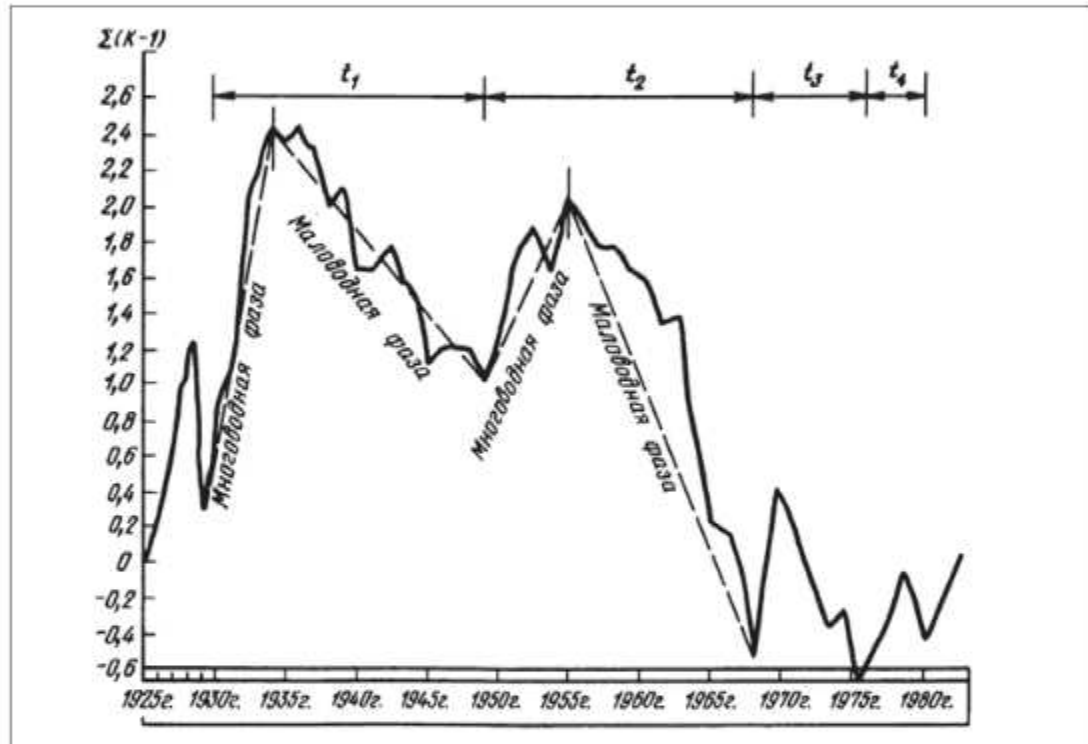


Рисунок 4.1 – Сокращённая суммарная кривая притока реки Москвы

Из свойств сокращённой интегральной кривой следует, что если тангенсы угла наклона касательных, проведённых к кривой, положительны, годовой сток больше среднего ($K_i > 1$), а если отрицательны, годовой сток меньше среднего ($K_i < 1$). Следовательно, период, в течение которого сокращённая кривая имеет положительные тангенсы угла наклона касательных (кривая поднимается вверх), соответствует многовековой фазе колебаний годового стока, и, наоборот, при отрицательных тангенсах (кривая опускается вниз) наблюдается маловодная фаза стока. Циклы водности, включающие многоводные и маловодные фазы, ограничены максимумами и минимумами сокращённой

интегральной. Циклы обозначены на рисунке *t*.

4. Вычислить среднюю квадратичную ошибку нормы стока:

$$\varepsilon_{\bar{Q}} = C_v \cdot 100\sqrt{n}, \quad (4.2)$$

где C_v – коэффициент вариации (рассчитать по формуле 4.3).

$$C_v = \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2 / (n - 1)} \quad (4.3)$$

Предварительные вычисления сводят в таблицу 4.2. Подставив в формулу (4.3) вычисленное значение $\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2$, находят C_v .

Таблица 4.2 – Расчёт C_v методом моментов

№ п/п	K_i	$K_i - 1$	$(K_i - 1)^2$
1..			
			$\Sigma =$

Задание 2. Определить характеристики стока.

Определение характеристик стока выполняется в следующей последовательности:

1. Вычислить объём стока ($\text{м}^3/\text{км}^3$) по формуле:

$$\bar{W} = \bar{Q} \cdot T, \quad (4.4)$$

где T – число секунд в году, $T = 31,54 \cdot 10^6$ с (число секунд в расчётном периоде времени).

2. Определить модуль стока ($\text{с} \cdot \text{км}^2$):

$$\bar{q} = 10^3 \bar{Q} / F, \quad (4.5)$$

где 10^3 – переход от кубометров к литрам;
 F – площадь водосбора реки, км^2 .

3. Найти слой стока (мм):

$$\bar{h} = \bar{W} / (F \cdot 10^3), \quad (4.6)$$

где \bar{h} – слой стока, мм в год.

4. Вычислить коэффициент стока – отношение объёма или слоя стока к количеству выпавших, а площадь водосбора осадков, обусловивших возникновения стока:

$$\bar{\alpha} = \bar{h} / \bar{x}, \quad (4.7)$$

где \bar{x} – норма годовых атмосферных осадков.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМЫ ГОДОВОГО СТОКА ПРИ ОТСУТСТВИИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Цель работы: вычислить нормы годового стока реки при отсутствии гидрометрических наблюдений по карте среднемноголетнего годового стока.

Оборудование: учебные пособия по гидрологии, атлас расчётных гидрологических карт.

Основные понятия: расход воды, объём стока, слой стока, норма годового стока, модуль стока, уровень воды.

Контрольные вопросы

1. Значение гидрологических прогнозов. Характер гидрологических прогнозов.
2. Основные методы получения гидрологических характеристик стока.
3. Как определить слой стока, зная его модуль и время?

Теоретическая часть

При отсутствии данных наблюдений норму стока определяют по карте изолиний среднего многолетнего стока или по аналогии со смежными бассейнами. Определение нормы стока по карте изолиний основано на допущении плавного измерения среднемноголетнего стока по территории соответственно распределению климатических и других физико-географических факторов.

Карты речного стока составляют по значениям стока, отнесённым к центру бассейна, так как сток реки, наблюдающийся в каком-либо пункте, равномерно распределён по всему бассейну. Для определения нормы стока необходимо оконтурить бассейн реки до замыкающего створа и найти его центр тяжести. Для центра тяжести бассейна определяют норму стока путём линейной интерполяции между ближайшими изолиниями. Карты применяют для рек с площадью водосбора меньше $50\,000\text{ км}^2$. Если изолинии стока расположены неравномерно простая линейная интерполяция недопустима и в таком случае находят средневзвешенное значение \bar{q} .

Задание 1. Определить норму годового стока р. Москвы у г. Звенигорода при отсутствии данных наблюдений по карте среднемноголетнего годового стока.

Определение нормы годового стока выполняется в следующей последовательности:

1. Провести водораздельную линию, оконтуривая бассейн реки до створа у города Звенигорода ($F = 5\,000\text{ км}^2$).

2. Определить центр тяжести бассейна. Поскольку рельеф равнинный, за центр тяжести бассейна можно принять точку пересечения двух перпендикулярных друг другу линий, делящих площадь бассейна на две равновеликие части.

3. Установить среднемноголетний модуль годового стока \bar{q} для центра тяжести бассейна интерполяцией между ближайшими изолиниями.

4. Определить норму годового стока в виде расхода воды по формуле:

$$\bar{Q} = \bar{q}F/10^3. \quad (5.1)$$

5. В случае пересечения водосбора несколькими изолиниями норму годового стока можно вычислить как средневзвешенное значение модуля стока по формуле:

$$\bar{q} = (q_1f_1 + q_2f_2 + \dots + q_nf_n)/F, \quad (5.2)$$

где q_1, q_2, \dots, q_n – среднее значения модуля стока между соседними изолиниями, л/(с·км²);

f_1, f_2, \dots, f_n – соответствующие площади между изолиниями, км²;

F – общая площадь водосбора до расчётного створа, км².

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОЁМА

Цель работы: определить морфометрические характеристики водоёма.

Оборудование: учебные пособия по гидрологии, топографические карты, циркуль, планиметр, сеточная палетка, курвиметр, калькулятор.

Основные понятия: водоём, морфометрические характеристики водоёма, площадь зеркала водоёма, уровень воды в водоёме, изобата.

Контрольные вопросы

1. Основные морфометрические характеристики водоёмов.
2. Способы определения морфометрических характеристик водоёма.
3. Влияние формы котловины водоёма на характер и направление течений.

Теоретическая часть

1. Морфометрические характеристики водоёмов

Морфометрические характеристики водоёмов представляют собой количественные показатели, характеризующие вид, форму, высотное положение, размеры ложа водоёмов и объёмы воды в них.

К морфометрическим характеристикам водоёмов относятся площадь водоёма; уровень воды; средняя глубина; длина водоёма; максимальная ширина; объём озера или объём водохранилища; объёмная кривая; батиграфическая кривая.

Морфометрические характеристики водоёмов, связанные с уровнем воды в водоёме, определяются для периода межени для естественных водоёмов и для нормального подпорного уровня – для искусственных водоёмов.

Топографические карты, используемые для определения морфометрических характеристик, должны отвечать требованиям, представленным в таблице 6.1.

2. Определение морфометрических характеристик водоёмов

Площадь зеркала водоёма определяется путём измерения её на цифровой топографической карте или космическом снимке соответствующего масштаба в пределах, ограниченных береговой линией данного водоёма. В площадь водоёма острова не включаются.

В площадь водосбора водоёма входит площадь, ограниченная

водораздельной линией, площадь самого водоёма с островами, а также площади замкнутых впадин, находящихся в пределах водосбора. Данные о площади водоёмов и водосборов приводятся с точностью, обеспечиваемой способами измерения и масштабом используемых карт. Точность округления значений производится в соответствии с таблицей 2.1.

Таблица 6.1 – Масштабы карт, используемые для определения морфометрических характеристик водоёмов

Водоёмы	Примерная площадь изображения водоёма на карте		Масштабы карт
	бумажной, см ²	цифровой, км ²	
Крупнейшие и большие	более 1 000	более 1 000	1 : 500 000
		1 : 100 000	
Средние	500 – 1 000	500 – 1 000	1 : 100 000
		125 – 250	1 : 50 000
Малые	100 – 500	25 - 125	1 : 50 000
		6 - 31	1 : 25 000
Самые малые	10 - 100	1 – 6	1 : 25 000
		0 - 1	1 : 10 000

Длина водоёма представляет собой наибольшую протяжённость водоёма между противоположными берегами по его осевой линии. Она определяется путём непосредственных измерений по топографической карте. Для этого в отдельном, рабочем слое на равном расстоянии от береговой линии проводится средняя, или осевая линия длины водоёма (рис.6.1).

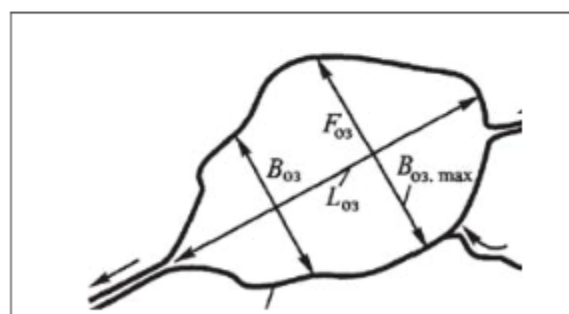


Рисунок 6.1 – Морфометрические характеристики водоёма

Максимальная ширина водоёма – это наибольшее расстояние между противоположными берегами водоёма, измеряемое по направлению, перпендикулярному линии длины.

Уровнем воды называется высота поверхности воды в реке, озере или другом водном объекте по отношению к некоторой постоянной плоскости сравнения. Данные об уровнях воды озёр, водохранилищ и рек используются непосредственно для прогнозирования стока, для определения границ возможного затопления во время наводнений и при проектировании сооружений на водных объектах или недалеко от них, а также служат основой для расчётов стока или изменения запасов воды в водоёмах.

Максимальная глубина определяется по отметкам глубин, нанесённым на карту. Отметка, которая имеет наибольшее значение, и обозначает максимальную глубину водоёма.

В случае изображения рельефа дна с помощью изобат, определить максимальную глубину возможно лишь приблизительно.

В общем случае (если отсутствуют другие источники) по изобатам на карте рекомендуется определять максимальную глубину приближенно по следующим условным правилам:

- если изображение рельефа дна дано изобатами с постоянным сечением, то за максимальную глубину принимается наибольшее значение изобаты, увеличенное на $1/3$ принятого на карте сечения изобат.

- если же на карте применена скользящая шкала изобат (2, 5, 10, 20), то за максимальную глубину водоёма принимается значение наибольшей изобаты, увеличенное в 1,5 раза, в случае, когда площадь, ограниченная этой изобатой, составляет более 0,1 площади водоёма, и в 1,2 раза, когда эта площадь менее 0,1 площади водоёма.

Практическая часть

Задание 1. Определить площадь зеркала водоёма и его водосбора.

Площадь зеркала водоёма определяется планиметрированием по контуру водоёма. При наличии островов их площади планиметрируются отдельно и вычитаются из общей площади. Для таких водоёмов определяется островность b :

$$b = \sum F_{\text{ост}} / F_0, \quad (6.1)$$

где $\sum F_{\text{ост}}$ - суммарная площадь островов;

F_0 - площадь зеркала водоёма.

При приближённой оценке F_0 может быть использована палетка. Ход определения площади зеркала водоёма путём планиметрирования

и результаты расчётов площадей, ограниченных изобатами, удобнее представить в виде таблицы 6.2.

Таблица 6.2 – Вычисления площадей водной поверхности и площадей, ограниченных изобатами исследуемого водоёма

Изобата	Отсчёт	Отсчёт по планиметру, <i>n</i>			Средняя разность отсчётов $\frac{\sum n}{3}$	Площадь, км ² , $F = K \frac{\sum n}{3}$	Разность между площадями, км ²
		1	2	3			
Поверх- ность водо- ёма (урез воды)							
1,00 м							
....							
$F_o =$							

Площадь водосбора определяется в соответствии с материалами, изложенными в практической работе №2.

Задание 2. Определить ширину и длину водоёма.

Определить максимальную и среднюю ширину водоёма. Максимальная ширина B_{max} равна длине перпендикуляра к линии длины L в наибольшей части водоёма, измеренной по его поверхности.

Средняя ширина – отношение площади зеркала водоёма к его длине:

$$B_{cp} = F_B / L_B. \quad (6.2)$$

При простых очертаниях водоёма длина может быть измерена простой линейкой, так как является прямой линией. При сложных очертаниях водоёма длина будет представлена ломаной линией.

Результаты определений длины, средней и максимальной ширины водоёма округляются до 0,5 км при их значении менее 10 км и до 1 км при значениях более 10 км.

Задание 3. Определить длину и развитие береговой линии.

Длина береговой линии $L_{бер.л.}$ измеряется по урезу воды (нулевой изобате). Для измерения следует использовать циркуль или курвиметр.

Развитие береговой линии характеризуется отношением длины

береговой линии к длине окружности круга S_0 , имеющего площадь, равную площади зеркала водоёма:

$$m_1 = L_{\text{бер.л.}}/S_0 = L_{\text{бер.л.}}/2\sqrt{\pi F_0}. \quad (6.3)$$

В некоторых случаях используется характеристика, отражающая изрезанность береговой линии и характеризующаяся отношением длины береговой линии S к периметру ломаной линии S_b , обводящей контур водоёма:

$$m_2 = S/S_b. \quad (6.4)$$

Задание 4. Определить уровень воды, максимальную и среднюю глубину водоёма.

Определение уровня воды выполняется по отметкам высот (урезам воды) и горизонталям, изображенным на топографических картах. В случаях, когда на карте у береговой линии водоёма подписана отметка уреза воды, то она принимается за уровень воды. В случае, когда отметка уреза воды отсутствует, за уровень воды принимается значение самой близкой к водному объекту горизонтали, уменьшенное на половину принятого на карте сечения горизонталей. При наличии половинной горизонтали значение уменьшается на четверть сечения. Значения уровня воды, определённые по горизонталям, записываются с точностью, обеспечиваемой высотой сечения горизонталей (1/2 или 1/4 сечения).

Максимальная глубина H_{max} , которая представляет собой наибольшее вертикальное расстояние от уровенной поверхности водоёма до дна, находится по данным промеров по изобатам на карте.

Средняя глубина водоёма вычисляется по формуле:

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=0}^n (H_i - H_{i+1})(F_i + F_{i+1})}{2F_B}. \quad (6.5)$$

Если сечение изобат на карте имеет постоянный интервал, то можно выполнить расчёт, используя другую формулу:

$$\bar{z} = \frac{\Delta z \sum_{i=0}^n (F_i + F_{i+1})}{2F_B}, \quad (6.6)$$

где Δz – сечение изобат, м;

F_i – площади уровенных поверхностей (от 0 до n);

H_i – высоты (глубины) уровенных поверхностей (от 0 до n);

F_B – площадь водоёма.

Задание 5. Определить объём водоёма.

Объём водоёма определяется по площади водоёма и средней или максимальной глубине по формулам:

$$V_0 = F_B \bar{z}, \quad (6.7)$$

где V_0 – объём водоёма;

F_B – площадь водоёма;

\bar{z} – средняя глубина водоёма.

$$V_0 = F_B z_{\text{макс}}/3 \quad (6.8)$$

где V_0 – объём водохранилища;

F_B – площадь водоёма;

$z_{\text{макс}}$ – максимальная глубина.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7 СТРОЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩА

Цель работы: изучить строение водохранилища и его основные характеристики.

Оборудование: калька (10 · 10), миллиметровка (10 · 10), палетка, простой карандаш, ластик, линейка, калькулятор.

Основные понятия: водохранилище, нормальный подпорный уровень, форсированный напорный уровень, уровень мёртвого объёма, мёртвый объём, полезный объём, полный объём водохранилища

Контрольные вопросы:

1. Значение и классификация водохранилищ.
2. Основные характеристики водохранилищ.

Теоретическая часть

1. Назначение водохранилищ

Водоохранилище – искусственно созданный водоём для хранения воды и регулирования стока. Под регулированием речного стока понимают перераспределение во времени объёма стока в соответствии с требованиями водопользования, а также в целях борьбы с наводнениями.

Наибольшее распространение получили водохранилища, создаваемые в долинах естественных водотоков постройкой водоподпорных сооружений (плотин, шлюзов). На участке выше водоподпорного сооружения (плотины) повышаются уровни и собираются большие объёмы воды, которые используются для хозяйственных целей. Длина водохранилища равна дальности распространения подпора от плотины.

В результате подъёма уровня воды, вызванного сооружением плотины на равнинных реках, в зоне затопления оказываются большие территории: сельскохозяйственные земли, населённые пункты. В результате повышения уровня грунтовых вод происходит подтопление значительной части примыкающей к водохранилищу территории. Кроме того, на реках образуются мелководные участки, происходит зарастание, заболачивание, что влечёт снижение качества воды в водохранилище.

2. Характерные уровни воды и объёмы водохранилища

Любое водохранилище рассчитывается на накопление некоторо-

го объёма воды в период наполнения и на сброс этого же объёма в период сработки.

Мёртвый объём (МО) – это постоянная часть полного объёма водохранилища, которая в нормальных условиях эксплуатации не срабатывается и в регулировании стока не участвует. Уровень поверхности, ограничивающий этот объём сверху, называют уровнем мёртвого объёма (УМО), сработка ниже которого вообще невозможна (рис.7.1).

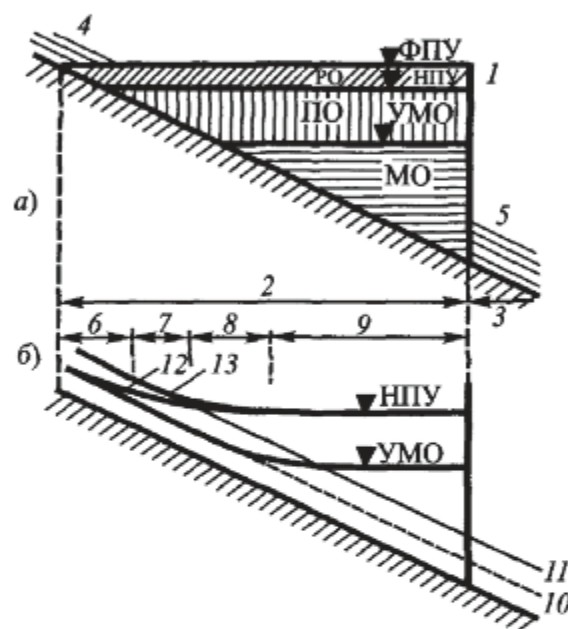


Рисунок 7.1. Основные элементы (а) и зоны (б) водохранилища:
 1 – плотина; 2 – верхний бьеф плотины; 3 – нижний бьеф плотины;
 4 – река выше водохранилища; 5 – река в нижнем бьефе; 6 – зона выклинивания подпора; 7,8,9 – верхняя, средняя, нижняя зоны водохранилища; 10,11 – меженный и половодный (паводковый) уровни воды в реке до сооружения водохранилища; 12,13 – меженный и половодный (паводковый) уровни воды в реке в условиях подпора; ФПУ – форсированный подпорный уровень; НПУ – нормальный подпорный уровень; УМО – уровень мёртвого объёма; РО – резервный объём, ПО – полезный объём; МО – мёртвый объём

Полезный объём (ПО) – основной объём водохранилища, непосредственно используемый для регулирования стока. ПО расположен выше УМО и ограничен сверху нормальным подпорным уровнем, то есть наивысшим проектным подпорным уровнем верхнего бьефа, который может поддерживаться в нормальных условиях эксплуатации

гидротехнических сооружений. Сумма полезного и мёртвого объёмов даёт полный объём, или ёмкость водохранилища.

Нормальный подпорный уровень (НПУ) – расчётная абсолютная отметка уровня воды в водохранилище. Он является проектным уровнем воды в водохранилище, или рабочим уровнем. Это высший подпорный уровень, который плотина может поддерживать в течение длительного времени при обеспечении нормальной эксплуатации всех сооружений.

В редких случаях, во время высокого половодья или больших паводков, допускается временное превышение НПУ на 0,5 – 1 м. Такой уровень называют форсированным напорным уровнем (ФПУ). Объём воды, заключённый между НПУ и ФПУ, называют резервным объёмом.

В пределах запрудного водохранилища выделяют несколько зон: зону переменного подпора, верхнюю, среднюю и нижнюю.

Практическая часть

Задание 1. Определить полный и полезный объём водохранилища.

Полный и полезный объём водохранилища выполняется в следующей последовательности:

1. Определить площадь водохранилища F_B , отметку высоты зеркала $H_{ЗВ}$, отметку уровня мёртвого объёма.

Значения F_B и $H_{ЗВ}$ обычно отображаются на топографических картах.

Отметки уровня мёртвого объёма $H_{МО}$ водохранилища и площади поверхности горизонтального сечения водохранилища на этом уровне можно взять из проекта водохранилища.

Если известна лишь отметка уровня мёртвого объёма (УМО), необходимо на карте путём интерполяции между основными изобатами и отметками глубин провести изобату со значением, равным отметке УМО, а затем измерить оконтуренную ею площадь $F_{МО}$.

2. Определить полный объём водохранилища.

Он определяется высотой плотины и задаётся в проекте водохранилища. Полный объём водохранилища устанавливается по координатам батиграфической кривой либо по средней глубине и площади водоёма F_B при нормальном подпорном уровне (НПУ) по формуле:

$$V_{ПЛН} = F_B \bar{z}, \quad (7.1)$$

где \bar{z} – средняя глубина водохранилища, м.

3. Определить мёртвый объём водохранилища по формуле:

$$V_M = F_{MO} \bar{z}', \quad (7.2)$$

где z' – средняя глубина водохранилища от УМО;

F_{MO} – площадь поверхности водохранилища при УМО.

4. Вычислить полезный объём водохранилища путём вычитания из полного объёма $V_{ПЛН}$ мёртвого объёма V_M :

$$V_{ПЛЗ} = V_{ПЛН} - V_M . \quad (7.3)$$

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8

ПОСТРОЕНИЕ БАТИГРАФИЧЕСКОЙ КРИВОЙ ВОДОХРАНИЛИЩА

Цель работы: построить батиграфическую и объёмную кривые водохранилища.

Оборудование: топографические карты, миллиметровка, палетка, простой карандаш, ластик, линейка, калькулятор.

Основные понятия: водохранилище, батиграфическая кривая, объёмная кривая водохранилища.

Контрольные вопросы:

1. Характерные уровни воды и объёмы водохранилища.
2. Определение характеристик водохранилища.
3. Зависимость между глубиной, площадью зеркала и объёмов водной массы.

Теоретическая часть

Координатами батиграфической кривой являются абсолютные высоты или глубины уровенных поверхностей водоёма и площади этих уровенных поверхностей (рис. 8.1). Определение значений батиграфической кривой производится по батиметрическим картам или по топографическим картам, на которых рельеф дна водоёмов изображён изобатами, горизонталями и отметками глубин, а также по результатам промера глубин эхолотом.

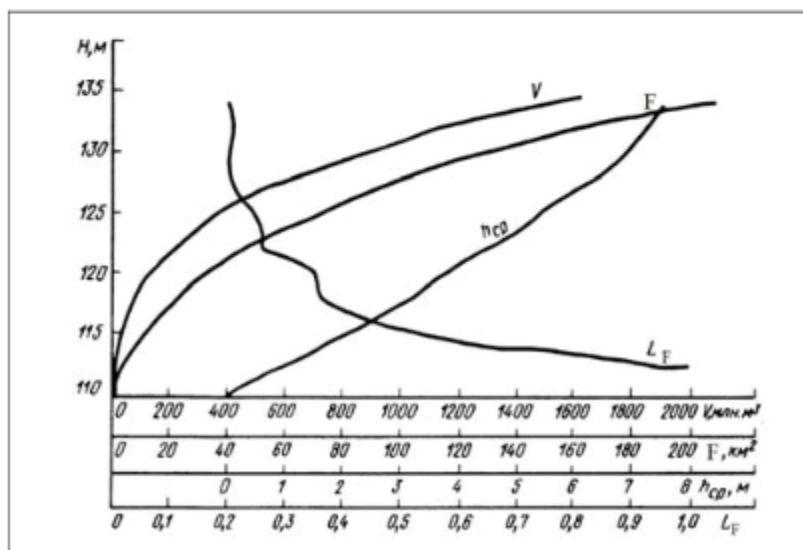


Рисунок 8.1 – Пример батиграфической кривой

При оценке водных запасов водоёма большое значение имеет кривая изменения объёма с глубиной, представляющая собой график связи объёма водоёма с уровнем воды в нём. Определение значений объёмной кривой производится по тем же данным, что и батиграфической кривой (рис. 8.2). Батиграфическая $F_o = f(H)$ и объёмная $V_o = f(H)$ кривые строятся на основании расчетов площадей зеркала $F_o, F_1, F_2, \dots, F_n$ и объемов воды V_o, V_1, V_2, V_n , соответствующих разному наполнению водоема. При проектировании будущего водохранилища значения площадей и объемов определяются по топографическим картам (планам).

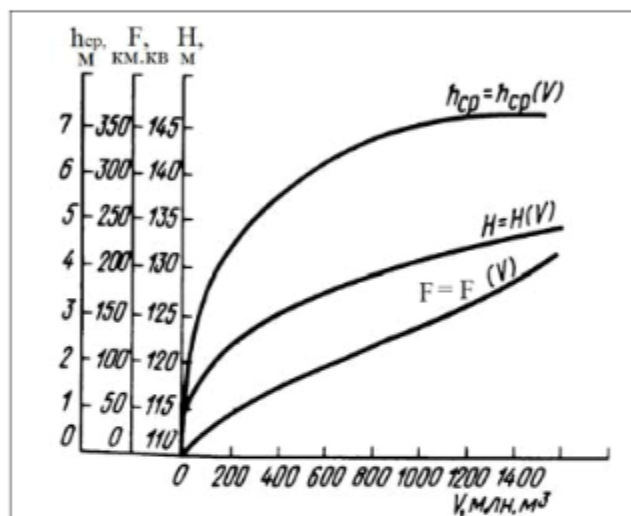


Рисунок 8.2 – Пример объёмной кривой

Значения $F_o, F_1, F_2, \dots, F_n$ и V_o, V_1, V_2, V_n определяются согласно изложенному выше в практической № 6 (зад. 1, 5). При этом определение объемов сводится к последовательному суммированию частных объемов, заключенных между двумя смежными изобатами или горизонталями от самого нижнего уровня до самого высокого. Батиграфическая и объёмная кривые обычно строятся на одном чертеже и имеют вертикальную ось, на которой откладываются глубины водоема (отметки уровней). На горизонтальной оси на двух шкалах откладываются нарастающие значения площадей и объемов. Нанесенные на поле графика точки соединяются плавными кривыми. В точке наибольшей глубины обе кривые пересекают вертикальную ось. Если на отметке максимальной глубины расположена ровная площадка, кривая $F_o = f(H)$ отсекает на горизонтальной оси отрезок, соответствующий размеру этой площади. За редким исключением кривые $V_o = f(H)$ представляют собой плавную линию с малой кривизной, аналитиче-

ское выражение которой имеет вид:

$$V = \gamma H_{max}^x, \quad (7.1)$$

где γ – параметр, постоянный для данного водоема;

x – параметр, характеризующий степень кривизны линии и зависит от формы котловины. Он равен отношению наибольшей глубины водоема к средней.

Кривая площадей $F_o = f(H)$ часто имеет неправильные очертания с изгибами и переломами, что связано с особенностями строения котловины. В этом случае для повышения точности следует значения площадей брать равномерно через небольшие интервалы глубины и для каждой точки перегиба.

В практике расчетов нередко строятся кривые $F_o = f(H)$ и $V_o = f(H)$ лишь для слоя, в пределах которого могут наблюдаться колебания уровня воды.

Практическая часть

Задание 1. Построить батиграфическую и объёмную кривые водохранилища.

Построение батиграфической кривой водохранилища выполняется в следующей последовательности:

1. Определить площади водной поверхности водохранилища, соответствующие различным уровням воды (горизонталям) с помощью планиметрирования топографического плана.

В таблицу 8.1, в 1 и 2 столбцы вписывают отметки уровня воды H_i и соответствующие им площади водной поверхности водохранилища из исходных данных.

Таблица 8.1 – Расчёт координат батиграфических и объёмных кривых водохранилища

$H_i, \text{м}$	$F_{i,2}$ км ²	$F_{cp,2}$ км ²	$\Delta H, \text{м}$	$\Delta V_i,$ млн м ³	$V_{H_i},$ млн м ³	$h_{cp}, \text{м}$	F_{L_i}	L_F
1	2	3	4	5	6	7	8	9
110	0							
112	2							
...								

2. Вычислить объёмы слоёв воды ΔV_i , заключённые между смежными уровнями воды, по формуле 8.1 (см. табл. 8.1).

$$\Delta V_i = 0,5 (F_i + F_{i+1})\Delta H_i, \quad (8.1)$$

где F_i и F_{i+1} – площади, соответствующие уровням воды H_i и H_{i+1} , м^2 ;

ΔH_i – приращение уровня воды, м, $\Delta H_i = H_{i+1} - H_i$.

Необходимо учитывать, что водная поверхность водохранилища горизонтальная. Данные занести в таблицу 8.1.

3. Объёмы воды в водохранилище V_i , соответствующие наполнению до отметки H_i , определяют последовательно, суммируя элементарные объёмы по формуле (8.2), начиная от дна.

$$V_{H_i} = \sum_{H_0}^{H_i} \Delta V_i \quad (8.2)$$

4. Средние глубины воды в водохранилище $h_{\text{ср}}$ при соответствующих отметках уровня воды в нём рассчитывают по формуле:

$$h_{\text{ср}} = \frac{V_{H_i}}{F_{H_i}}, \quad (8.3)$$

где V_{H_i} – объём воды, м^3 .

5. Найти площадь литорали по формуле:

$$F_{L_i} = F_{H_i} - F_{H_i-2}, \quad (8.4)$$

где F_{H_i-2} – площадь водной поверхности водохранилища, соответствующая уровню воды $H = H_i - 2\text{м}$, которую определяют по кривой $F = F(H)$, м^2 .

Критерий площади литорали (мелководья) находят по формуле:

$$L_{F_i} = \frac{F_{L_i}}{F_{H_i}}, \quad (8.5)$$

где F_{H_i} – площадь водной поверхности, м^2 ;

F_{L_i} – площадь литорали (мелководья) в водохранилище при уровне воды H_i , м^2 .

Из формул (8.4) и (8.5) следует, что если уровень воды у плотины превышает отметку дна водохранилища не более чем на 2 м, то $F_{H_i-2} = 0$ и, следовательно, $F_{L_i} = F_{H_i}$, а критерий литорали $L_{F_i} = 1$. С повышением уровня воды критерий литорали уменьшается.

6. По данным таблицы 8.1. построить батиграфические $F=F(H)$, $V=V(H)$, $h_{cp}=h_{cp}(H)$ (см. рис. 8.1) и объёмные $H=H(V)$, $F=F(V)$, $h_{cp}=h_{cp}(H)$ (см. рис. 8.2) кривые.

Батиграфические и объёмные кривые строят в системе прямоугольных координат на листе миллиметровой бумаги стандартного формата. Масштаб построения кривых принимают кратным 2, 5, 10, 20, 50. Масштаб построения кривых принимают таким, чтобы кривые не пересекались, а хорды, соединяющие концы кривых $V=V(H)$, $F=F(H)$ и $H=H(V)$, $F=F(V)$, составляли с осью абсцисс угол $30 \dots 60^\circ$.

Кривые $V=V(H)$ и $H=H(V)$ имеют плавные очертания, остальные кривые, отражающие индивидуальные особенности топографии местности, строят по точкам, которые соединяют отрезками прямых.

Бассейн реки – это часть земной поверхности, включающая речную сеть и отделённую от других орографическим водоразделом.

Батиграфическая кривая – часть гипсографической кривой, характеризующая распространённость различных глубин дна.

Водоёмы – это водные объекты в понижениях земной поверхности с замедленным движением воды (пруды, озёра).

Водоносность – количество воды, переносимое определенной рекой в течение года.

Водосбор (водосборный бассейн) – часть земной поверхности в толще почв и горных пород, откуда вода поступает к водному объекту. Выделяют поверхностный и подземный водосборы.

Водотоки – это водные объекты на земной поверхности с поступательным движением воды в руслах в направлении уклона (реки, каналы, ручьи).

Водохранилище – искусственный водоем, предназначенный для задержания, накопления, хранения и перераспределения речного стока с целью его использования для удовлетворения хозяйственных нужд.

Гидрограф – график изменения во времени расходов воды за год или часть года (сезон, половодье или паводок) в данном створе водотока.

Гидрографическая длина водотока – наибольшая протяжённость основного русла водотока (системы водотоков), измеряемая от истока притока, составляющего с основным водотоком наибольшую длину.

Гидрографическая извилистость – это извилистость русла реки в пределах долины, обусловленная определённым типом руслового процесса.

Гидрологические характеристики – количественные оценки элементов гидрологического режима.

Густота речной сети – длина сети водотоков, приходящаяся на единицу площади водосбора.

Густота русловой сети – длина русловой сети (речных долин, оврагов, балок, логов и сухих русел), приходящаяся на единицу площади водосбора.

Дельта – форма устья реки, характеризующаяся наличием протоков, островов, располагающихся веерообразно.

Длина водоема – наибольшая протяженность водоема, определяемая по осевой линии водоема.

Извилистость водотока (участка водотока) – отношение длины водотока (участка водотока) к прямой, соединяющей ее исток и устье (или конечные точки участка), характеризующее степень криволинейности русла.

Координаты батиграфической кривой – абсолютные высоты (глубины) и площади горизонтальных сечений водоема, характеризующие связь площади и объема воды в нем с уровнем воды.

Координаты гипсографической кривой – абсолютные высоты и площади горизонтальных сечений водосбора, характеризующие распределение высот поверхности водосбора.

Координаты поперечного профиля водотока – абсолютные высоты точек перегиба профиля и расстояния до них от постоянного начала, характеризующие форму поперечного профиля.

Координаты продольного профиля водотока – абсолютные высоты точек перегиба профиля и длины участков водотока от истока или устья до точек перегиба, характеризующие форму и уклоны продольного профиля водотока.

Максимальная глубина водоема – наибольшее вертикальное расстояние от уровенной поверхности водоема до дна.

Максимальная ширина водоема – наибольшее расстояние между противоположными берегами водоема, измеряемое перпендикулярно осевой линии водоема.

Межень – продолжительный низкий сток, обусловленный переходом реки почти исключительно на подземное питание.

Морфологические характеристики водосборов – качественно-количественные показатели характеризующие особенности строения водосбора. К ним относятся: озёрность, взвешенность, количество и суммарная площадь естественных сточных и бессточных водоёмов, количество и суммарная площадь искусственных водоёмов, заболоченность, распаханность, лесистость, оледенённость, урбанизированность, закарстованность, характер почвогрунтов водосбора, мерзлотность.

Морфометрические характеристики водоёмов – количественные показатели, характеризующие вид, форму, высотное положение, размеры ложа водоёмов и объёмы воды в них. К ним относятся площадь водоёма, площадь водосбора, уровень воды, нормальный подпорный уровень водохранилища, средняя глубина, объём озера

или объём водохранилища, длина, максимальная ширина и координаты батиграфической кривой водоёма.

Морфометрические характеристики водосборов – количественные показатели, дающие представление о форме, размерах и пространственном положении водосбора. К этим характеристикам относятся: площадь, средняя высота, средний уклон склонов, густота речной сети, густота русловой сети, площадь замкнутых западин, координаты гипсографической кривой, коэффициент канализованности речной сети.

Морфометрические характеристики водотоков – количественные показатели, дающие представление о размерах, форме, уклонах различных водотоков. К ним относятся: длина, гидрографическая длина, средний уклон, координаты продольного профиля, извилистость, координат поперечного профиля.

Норма годового стока – это среднее арифметическое значение годового стока за многолетний период такой продолжительности, при увеличении которой полученное среднее существенно не меняется.

Объём озера – количество воды в озере при определённом уровне.

Объём стока – количество воды, стекающей с водосбора за какой-либо интервал времени (сутки, месяц, год).

Паводок – резкое кратковременное повышение стока, вызванное ливневыми дождями или оттепелями зимой.

Планиметр – прибор, служащий для механического определения площади замкнутых контуров, прорисованных на плоской поверхности.

Площадь водоёма – площадь водной поверхности водоёма, ограниченная его береговой линией.

Площадь водосбора – часть земной поверхности и толщи почвогрунтов, ограниченная водораздельной линией, с которой вода поступает в данный водный объект.

Площадь замкнутых западин – часть поверхности водосбора, представляющая собой суммарную площадь замкнутых бессточных понижений земной поверхности.

Половодье – продолжительное повышение стока, повторяющееся ежегодно в один и тот же сезон.

Расход воды – объём воды, протекающей через поперечное сечение водотока за единицу времени.

Режим реки – закономерные изменения состояния реки во вре-

мени, обусловленные комплексом природных факторов.

Речной сток – перемещение воды в виде потока по речному руслу.

Слой стока – количество воды, стекающей с водосбора за какой-либо интервал времени равное толщине слоя, равномерно распределено по площади водосбора.

Средний уклон водотока (участка водотока) – отношение превышения истока над устьем (или между концами участка), определяемого по разности высотных отметок, к соответствующей длине водотока (или его участка).

Средний уклон склонов водосбора – среднее значение уклонов частных склонов поверхности водосбора.

Средняя высота водосбора – среднее арифметическое из абсолютных отметок высот точек, равномерно расположенных на водосборе.

Средняя глубина водоема – среднее вертикальное расстояние от поверхности воды до дна, определяемое отношением объема воды в водоеме к его площади.

Сток – это движение воды по поверхности, а также в толще почв и горных пород в процессе её круговорота в природе.

Фазы водного режима – характерное состояние водного режима реки, повторяющееся в определённые гидрологические сезоны в связи с изменением условий питания. Основными фазами водного режима реки являются половодье, паводок, межень.

Уровень воды – превышение поверхности воды над условной горизонтальной плоскостью.

Устье реки – место впадения реки в другую реку, озеро, водохранилище, море или место, в котором река теряет свою воду вследствие ухода под землю (в карстовых районах), или место полного разбора на хозяйственные нужды.

Эстуарий – воронкообразное затопленное устье, постепенно расширяющееся в сторону моря в виде морского залива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. – Л.: Гидрометеониздат, 1988. – 312 с.
2. Гидрология и гидрометрия: учебник / Е.Е. Овчаров, Н.Н. Захаровская. – Ленинград: Гидрометеониздат, 1986. – 312 с.
3. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока / Г.В. Железняков, Т.А. Неговская, Е.Е. Овчаров. – М.: Колос, 1984. – 205 с.
4. Догановский А.М. Гидрология суши (общий курс). – СПб. Изд. РГГМУ, 2012. – 524 с.
5. Догановский А.М., Орлов В.Г. Сборник задач по определению основных характеристик водных объектов суши. Учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2011. – 315 с.
6. Кузьминский Р.А. Гидрология, гидрометрия и гидротехнические сооружения: Уч. пос. – М.: РГОТУПС, 2008. – 262 с.
7. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. Гидрология: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2007. – 463 с.
8. Научно-прикладной справочник: Многолетние характеристики притока воды в крупнейшие водохранилища РФ [Электронный ресурс] / Коллектив авторов под редакцией Георгиевского В.Ю. – Москва: ООО «РПЦ Офорт», 2017 – 132 с.
9. Нежиховский Р.А. Гидролого-экологические основы водного хозяйства. – Л.: Гидрометеониздат, 1990 – 228с.
10. Приказ МПР РФ от 25 апреля 2007 г. №112 Об утверждении методики гидрографического районирования территории Российской Федерации
11. Руководство по гидрологической практике. Том 1. Гидрология от измерений до гидрологической информации. ВМО-№ 168. 2011. – 314 с.
12. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом: [Утверждено Госкомгидрометом 6 января 1984 года]. Л.: Гидрометеониздат, 1986. – 91 с.
13. Рыбинское водохранилище [Карты]: топографическая карта / подгот. К печати ф-кой им. В.В. Дунаева в 1990 г. Москва: ВТУ ГИ, 1993 – 1 к.

14. СП 11–103–97 Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. – М., 1998.

15. СП 33–101–2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Актуализированная редакция СНиП 2.01.14-83 – М., 2004.

16. СП 58.13330.2012 Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003. – М., 2012.

17. СТО ГТИ 52.08.40-2017. Определение морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов с использованием технологии географических информационных систем по цифровым картам Российской Федерации и спутниковым снимкам. – М.: ООО «РПЦ Офорт», 2017. – 148 с.

ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. Старые карты Москвы и Московской области [Электронный ресурс]. URL: http://www.etomesto.ru/map-moscow_vysoty/ (дата обращения: 12.02.2019)

2. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ [Электронный ресурс]. URL: http://www.rspin.com/map_atlas/ (дата обращения: 12.02.2019)

3. Топографические карты Московской области [Электронный ресурс]. URL: <http://topmap.su/50/index.html> (дата обращения: 12.02.2019)

ПРИЛОЖЕНИЯ

Примерный перечень притоков реки Москвы

Название реки	Куда впадает/правый (П) – левый (Л) приток	Расстояние от устья, км	Длина реки, км	Площадь водосбора, км ²
Руза	Москва/Л	342	145,0	1990,0
Истра	Москва/Л	247	113,0	2050,0
Сходня	Москва/Л	209	47,0	255,0
Химка	Москва/Л	206	18,0	89,0
Яуза	Москва/Л	168	48,0	452,0
Пехорка	Москва/Л	96	42,0	523,0
Гжелка	Москва/Л	86	32,0	443,0
Нерская	Москва/Л	43	92,0	1510,0
Мезенка	Москва/Л	31,5	20,0	103,0
Медведка	Москва/Л	19	23,0	121,0
Ведомка	Москва/П	361	16,0	100,0
Сетунь	Москва/П	298	23,0	106,0
Вяземка	Москва/П	257	20,0	115,0
Пахра	Москва/П	120	129,0	2580,0

Классификация рек по гидрологическому режиму Б.Д. Зайкова

Под гидрологическим режимом по Б.Д. Зайкову понимается распределение и характер прохождения различных фаз водного режима: половодья, межени, паводков. Согласно этой типизации, все реки России и стран СНГ разделены на три группы: с весенним половодьем, с летним половодьем и паводками; с паводочным режимом.

Гидрологический режим	Тип	Общая характеристика
С весенним половодьем	казахстанский	резко выраженное короткое половодье и почти сухая межень большую часть года
	восточноевропейский	высокое недлинное половодье, летняя и зимняя межени
	западносибирский	невысокое растянутое половодье, повышенный сток летом, зимняя межень
	восточносибирский	высокое половодье, летняя межень с дождевыми паводками, очень низкая зимняя межень
	алтайский	невысокое неравномерное растянутое половодье, повышенный летний сток, зимняя межень
С летним половодьем	дальневосточный	невысокое растянутое половодье с паводками муссонного генезиса, низкая зимняя межень
	тянь-шаньский	невысокое растянутое половодье ледникового генезиса
С паводочным режимом	причерноморский	паводки в течение всего года
	крымский	паводки зимой и весной, летом и осенью межень
	северокавказский	паводки летом, зимой межень

Расход воды, куб м/с
Река Москва – город Звенигород

Число	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	28,0	31,4	27,4	89,2	47,7	38,7	35,8	34,0	40,5	31,0	40,5	50,7
2	27,3	32,0	27,4	99,2	46,5	37,5	36,3	34,0	39,9	33,6	40,5	48,0
3	28,2	34,3	33,0	84,3	45,9	35,1	36,3	34,0	40,4	42,3	39,3	47,7
4	32,2	35,9	34,4	88,5	45,3	39,3	35,3	34,5	40,4	42,3	39,3	48,1
5	35,5	35,9	33,7	132	44,7	46,5	34,9	35,5	40,3	42,3	39,3	46,9
6	36,6	35,1	32,8	248	44,1	57,3	34,0	36,0	41,4	41,1	42,9	44,1
7	34,6	35,1	33,1	228	45,3	56,7	34,0	37,6	44,0	39,9	51,9	46,8
8	34,6	34,7	33,1	97,6	51,3	48,9	34,4	37,5	42,9	39,3	51,9	47,7
9	34,9	35,1	32,5	100	65,8	47,1	39,5	37,0	41,2	39,9	51,9	48,1
10	33,9	34,1	32,1	111	243	47,1	41,3	37,0	38,4	38,7	53,1	45,7
11	31,9	32,5	31,8	108	493	44,1	40,9	36,5	39,3	38,7	55,5	43,7
12	27,6	36,4	31,5	74,2	363	45,3	40,9	37,0	39,9	39,3	52,5	42,1
13	28,3	39,1	31,2	64,6	97,6	42,9	41,9	36,5	40,3	37,6	54,3	40,1
14	31,8	39,9	31,5	56,1	64,0	42,9	41,9	36,0	40,2	37,5	56,1	40,1
15	32,1	40,3	31,5	53,1	74,2	38,1	41,5	36,5	39,5	37,5	54,9	37,8
16	31,4	39,9	31,2	50,7	87,8	39,3	42,9	36,5	37,7	37,5	48,9	36,8
17	32,8	40,3	30,5	48,3	69,7	43,5	47,4	37,0	35,2	37,5	40,5	38,3
18	31,2	39,2	29,9	45,9	48,9	54,3	43,9	38,0	33,9	36,9	41,7	37,9
19	30,0	36,3	31,1	47,1	42,9	69,7	41,6	36,5	34,3	36,3	40,5	37,9
20	25,6	36,3	30,8	47,1	41,7	53,7	42,0	36,5	34,1	38,1	42,0	37,3
21	23,6	35,6	30,5	45,9	39,9	59,2	42,6	36,5	34,1	39,9	44,0	37,7
22	23,8	34,6	29,9	51,3	42,9	45,7	41,1	36,5	32,6	39,3	42,6	39,5
23	24,1	33,5	28,3	65,2	42,3	43,1	40,6	36,5	32,6	39,3	47,7	38,8
24	22,7	32,8	23,4	102,	42,3	40,7	39,6	37,0	32,0	39,3	54,1	37,3
25	21,6	32,2	28,0	119	41,7	41,9	38,1	38,5	32,6	39,3	53,7	38,1
26	19,5	32,5	40,9	110	33,6	44,1	38,1	39,0	32,6	38,7	57,2	37,1
27	21,9	30,9	51,0	72,2	27,0	43,6	38,6	39,5	32,6	38,7	57,8	31,3
28	23,0	29,9	54,9	51,3	30,0	41,6	36,5	40,5	31,5	38,1	54,0	31,7
29	24,1	28,7	56,1	54,3	38,7	37,1	34,5	46,7	31,5	39,3	50,6	37,4
30	25,7		60,4	45,3	38,7	36,2	34,5	48,2	31,0	41,7	47,1	38,1
31	27,3		75,4		38,7		34,0	41,0		41,1		40,4

**Данные среднемесячного расхода воды
в реке Москва – г. Звенигород.
Площадь водосбора 5 000 км²**

Годы	Средний месячный расход воды, м ³ /с												Средний годовой расход воды, м ³ /с
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1976	14,7	10,0	20,6	59,8	86,9	44,4	23,3	19,2	19,3	17,7	23,5	26,7	30,5
1977	19,3	19,3	38,8	106	31,1	49,1	26,0	22,4	19,8	22,2	27,9	22,7	33,7
1978	20,7	28,4	50,4	57,0	47,4	35,8	27,3	23,2	23,0	25,1	36,7	35,2	34,2
1979	30,9	36,4	40,9	129	34,1	38,4	36,6	36,7	30,4	26,5	31,8	38,8	42,5
1980	27,1	23,9	24,3	83,7	49,5	35,3	46,6	93,8	69,0	26,8	31,3	43,9	46,3
1981	27,1	24,1	30,4	79,9	49,8	35,8	27,3	36,7	30,4	26,5	23,0	22,7	34,5
1982	27,1	23,9	24,3	83,7	49,5	35,3	46,7	93,8	69,0	26,8	31,3	43,9	46,4
1983	34,3	32,6	36,6	52,1	32,1	40,7	34,3	35,3	40,8	32,7	62,6	30,8	38,8
1984	34,3	32,6	36,7	52,1	32,1	40,7	34,3	35,3	40,8	32,6	62,6	30,7	38,7
1985	28,6	29,2	29,6	49,3	47,8	44,5	30,3	32,4	36,7	33,6	48,4	32,0	36,8
1986	27,1	23,9	24,3	83,7	49,5	35,3	46,7	92,8	67,0	26,8	31,3	43,9	46,4
1987	28,6	29,5	29,5	49,2	47,8	44,5	30,3	32,4	36,9	33,6	48,4	32,0	36,9
1988	28,6	35,0	35,8	86,3	79,9	45,4	38,9	37,5	36,9	38,8	48,2	41,1	46,0
1989	19,3	19,3	38,8	106	31,1	49,1	26,0	22,4	19,8	22,2	27,9	22,7	33,7
1990	20,7	28,4	50,4	57,0	47,4	35,8	27,3	23,2	23,0	25,1	36,7	35,2	34,2
1993	17,2	15,8	23,3	27,1	16,6	22,8	23,9	24,4	25,6	20,9	16,6	21,5	21,3
1994	18,5	16,4	18,9	20,8	20,3	19,5	16,5	18,2	20,6	19,0	19,6	20,1	19,0
1995	13,4	13,7	22,8	25,4	18,2	19,3	17,6	18,0	16,7	14,9	18,0	13,3	17,6
1996	19,3	19,3	38,8	106	31,1	49,1	26,0	22,4	19,8	22,2	27,9	22,7	33,7
1997	14,7	10,0	20,6	59,8	86,9	44,4	23,3	19,2	19,3	17,7	23,5	26,7	30,5
1998	18,8	18,4	24,9	92,9	33,6	26,0	27,0	26,2	25,6	22,0	25,9	26,5	30,7
1999	19,3	19,3	38,8	106	31,1	49,1	26,0	22,4	19,8	22,2	27,9	22,7	33,7
2000	30,9	36,4	40,9	129	34,1	38,4	36,6	36,7	30,4	26,5	31,8	38,8	42,5
Наиб.	30,9	36,4	50,4	129	86,9	49,1	46,7	93,8	69,0	38,8	62,6	43,9	46,4
Наим.	14,7	10,0	18,9	20,8	31,1	19,3	16,5	18,0	16,7	14,9	16,6	13,3	17,6