

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Методы гидрометрических измерений

Сборник описаний практических работ

Казань - 2019

УДК 556+627

Печатается по решению учебно-методической комиссии
Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ
(Протокол № 7 от 19 марта 2019 г.)

заседания кафедры общей геологии и гидрогеологии
(Протокол № 8 от 6 февраля 2019г.)

Рецензент:

кандидат геолого-минералогических наук, доцент **Нуриев И.С.**

Софинская О.А.

Методы гидрометрических измерений: Сборник описаний практических работ / Составитель: О.А. Софинская. – Казань: Изд-во Казанского федерального университета, 2019. – 49 с.

Целью сборника описаний практических работ является помощь в самостоятельном освоении практической части курса «Методы гидрометрических измерений». Сборник составлен в соответствии с современными требованиями по подготовке бакалавров по направлению «География» и является продолжением курса «Гидрология». В сборнике дается краткое изложение теоретических основ и примеров расчета гидрометрических характеристик. Описание каждой практической работы содержит необходимые понятия и определения гидрометрии, задания для самостоятельной работы студентов, контрольные вопросы. В приложении приведены реальные гидрометрические данные для выполнения расчетов. Сборник предназначен для студентов вузов, аспирантов и преподавателей.

УДК 556+627

© Софинская О.А., 2019
© Издательство Казанского университета, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

1.1. Практическая работа №1. Методы определения площади речных бассейнов	4
1.2. Практическая работа №2. Измерение скоростей течения в реке с помощью гидрометрической вертушки	8
1.3. Практическая работа №3. Расчет характеристик речного стока. Расчленение гидрографа	13
2.1. Практическая работа №4. Прогнозирование максимальных расходов воды в реке в период весеннего половодья обеспеченностью превышения	21
2.2. Практическая работа №5. Прогнозирование расходов воды в реке расчетной вероятностью превышения (обеспеченностью) при отсутствии данных гидрометрических наблюдений	22
2.3. Практическая работа №6. Восстановление пропусков в гидрологических данных методом Фурье-синтеза	24
3.1. Практическая работа №7. Расчет проектного полезного объема водохранилища на основании данных о водном балансе водохозяйственного района.....	30
4.1. Практическая работа №8. Определение характеристик твердого стока реки.....	34
Литература.....	38
Приложения.....	39

1. Общие понятия гидрометрии

Гидрометрия представляет собой науку о методах измерения и наблюдения с целью изучения гидрологических режимов. Она является разделом более общей науки *гидрологии*, и в ее задачи входит разработка приборов и методов количественного определения различных характеристик стока и систематическое изучение гидрологического режима водных объектов для получения многолетних рядов наблюдений за уровнями, скоростями течений, элементами волн, расходами и стоком воды и наносов, температурным режимом, распределением плотности, химическим составом воды, ледовыми явлениями и т.д. Она близко соприкасается с *инженерной гидрологией* – прикладной сферой, разрабатывающей методы расчета и прогноза характеристик гидрологических режимов. Еще одна практическая область, наиболее тесно связанная с гидрометрией – *гидротехника* – изучает водные объекты как природные ресурсы, их использование в хозяйственных целях, методы борьбы с вредным воздействием вод с помощью инженерных сооружений.

Гидрометрические измерения и наблюдения происходят на объектах:

водоток - водный объект, характеризующийся движением воды в направлении уклона в углублении земной коры;

река – водоток, длиной более 0,5 км, питающийся атмосферными осадками со своего водосбора и имеющий четко выраженное русло;

водоём - постоянное или временное скопление стоячей или со сниженным стоком воды в естественных или искусственных впадинах (озёра, водохранилища, пруды и т. д.)

озеро - компонент гидросферы, представляющий собой естественно возникший водоём, заполненный в пределах озёрной чаши (озёрного ложа) водой и не имеющий непосредственного соединения с морем (океаном).

Основные гидрометрические наблюдения проводят на *гидрологических постах* – местах, специально выбранных на берегу водного объекта и оборудованных для систематических гидрологических наблюдений и передачи информации об их результатах. Гидрологические посты на водных объектах России входят в систему гидрометеорологических наблюдений Росгидромета или принадлежат другим ведомствам. Различают гидрологические посты: речные, озёрные, на водохранилищах, болотные и др.

В краткой теории к каждой практической работе объяснены гидрометрические характеристики, которыми она оперирует.

1.1. Практическая работа №1. Методы определения площади речных бассейнов

Краткая теория

Водосборный бассейн - территория земной поверхности, с которой все поверхностные и грунтовые воды стекают в данный водоём или водоток, включая различные его притоки. включает в себя поверхностный и подземный водосборы. Поверхностный водосбор представляет собой участок земной поверхности, с которого поступают воды в данную речную систему или определённую реку. Подземный водосбор образуют толщи рыхлых отложений, из которых вода поступает в речную сеть. В общем случае поверхностный и подземный водосборы не совпадают. Но так как определение границы подземного водосбора практически очень сложно, то за величину речного бассейна принимается только поверхностный водосбор.

По величине реки разделяются на:

- малые – от 0,5 до 10 км, с площадью бассейна менее 2 000 км²
- средние – с длиной более 10 км и площадью бассейна от 2 000 до 50 000 км²
- большие – с длиной более 10 км и площадью бассейна выше 50 000 км².

При этом *длина реки измеряется от устья*, т.к. оно не так быстро изменяет свое положение, как исток.

Площадь водосбора рек, расположенных в одинаковых физико-географических условиях, определяет водность реки: чем больше река, тем она полноводнее. Для определения площади водосбора на карте устанавливают водораздел и измеряют ограниченную им площадь.

Водораздел - условная топографическая линия на земной поверхности, разделяющая два смежных водосбора рек, озёр, морей или океанов, направляя сток атмосферных осадков по двум противоположным склонам. Водораздел характеризуется средней высотой: чем она больше, тем большее количество воды собирается в данный бассейн.

Речная система – совокупность рек, сливающихся вместе и выносящих свои воды в виде общего потока.

Типы водосборов:

- с расширением в средней части – тип характерен для равнинных рек (р. Чемба в бассейне р. Ангары);
- с расширением в верхней части - тип характерен для горных рек (р. Салгир в Крыму);

1. Нанести на выданную контурную карту водораздельную линию заданного речного бассейна.
2. Подготовить палетку известной площади из миллиметровой бумаги.
3. Путем наложения палетки на контур водосборного бассейна подсчитать его площадь в мм², после его перевести полученные данные в км², пользуясь масштабом карты.
4. Вырезать контур водосборного бассейна и взвесить его на аналитических весах с точностью 0,001 г.
5. Взвесить на весах палетку известной площади $S_{\text{палетки}}$ из пропорции:

$$S_{\text{палетки}} / W_{\text{палетки}} = S_x / W_x$$

(где $W_{\text{палетки}}$, W_x – веса палетки и контура, соответственно), найти площадь контура водосбора S_x в мм², после чего перевести их в км².

6. Измерить курвиметром, по Google Map, или другим электронным картам длину главной реки. Построить круговой график водосбора.
7. Определить коэффициент извилистости водораздельной линии как:

$$K = L_{\text{водор}} / L_{\text{круга}}$$

(где $L_{\text{водор}}$ и $L_{\text{круга}}$ - длины водораздельной линии (по контуру бассейна) и окружности с площадью, равной площади бассейна, соответственно).

8. В выводе к работе указать полученные результаты, сравнить результаты, полученные разными методами, указать тип водосбора и классифицировать речную систему по размеру.

Примерные темы семинарских занятий

Деятельность исследователей на этапе накопления гидрометрических данных:

- С.П. Крашенинников,
- Н.И. Липихин,
- П.С. Паллас,
- И.П. Фальк,
- Г. Галилей

Контрольные вопросы:

1. Укажите точки соприкосновения гидрометрии с гидрологией, инженерной гидрологией и гидротехникой.
2. Какая часть водосбора не входит в расчет площади речного бассейна?
3. Какие особенности речных систем можно узнать из формы их водосборных бассейнов?

4. Какие методы определения площадей водосборных бассейнов вы знаете и можете описать?

1.2. Практическая работа №2. Измерение скоростей течения в реке с помощью гидрометрической вертушки

**Примечание: срок выполнения работы выбирается, исходя из погодных условий*

Краткая теория

Скорость течения в реках – важный параметр, необходимый для расчетов и прогнозов расхода воды, заполнения водохранилищ, эрозии берегов и др. Измерение скорости течения проводится в специальном образом расположенных точках живого сечения реки.

Живое сечение реки – это сечение потока, перпендикулярное направлению скорости течения воды, в котором скорость течения больше порога чувствительности приборов, применённых для определения расхода воды. При плавном изменяющемся движении воды оно считается плоским и равным площади поперечного сечения потока.

Мертвое сечение – часть сечения реки, в которой скорость меньше порога чувствительности приборов.

Урез воды - линия пересечения водной поверхности любого бассейна (водотока рек или водоёма) с поверхностью суши. По высотной отметке уреза воды определяется высота водотока (водоёма) над уровнем моря.

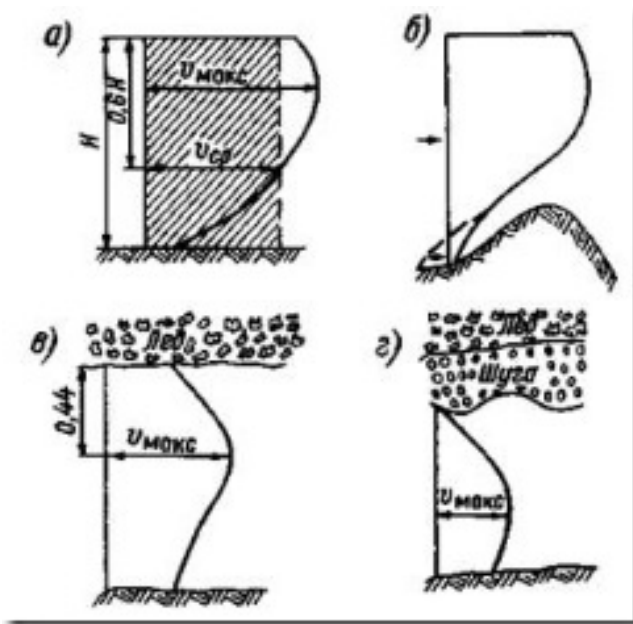
Уровень воды - высота поверхности воды, отсчитываемая относительно постоянной плоскости сравнения - среднего многолетнего уровня воды в водоёмах, а также нуля футштока на водомерных постах, фиксирующего этот уровень.

Смоченный периметр - длина части границы русла, касающейся жидкости.

Кривые изменения скоростей по вертикали называются *гидрографами* или *эпюрами скоростей*. На распределение скоростей по вертикали большое влияние оказывают:

- неровности в рельефе дна,
 - ледяной покров,
 - ветер,
- водная растительность.

Рисунок 2. Распределение скоростей в речном потоке: а — открытое русло, б — перед препятствием, в — ледяной покров, г — скопление шуги.



По горизонтали скорости, как поверхностная, так и средняя на вертикалях меняются довольно плавно, в основном повторяя распределение глубин в живом сечении: у берегов скорость меньше, в центре потока она наибольшая. Линия, соединяющая точки на поверхности реки с наибольшими скоростями, называется *стрежнем*.

Расход реки - количество воды, протекающей через поперечное сечение русла водотока в единицу времени. Выражают расход воды

обычно в м³/с.

Методы измерения скорости течения:

- поплавковый,
- с помощью гидрометрической вертушки
- расчетный

Для вычисления средней скорости потока при отсутствии непосредственных измерений широко применяется *формула Шези*:

$$V = C\sqrt{RI}$$

или где R — гидравлический радиус, м, C — скоростной коэффициент, зависящий от шероховатости русла и гидравлического радиуса, I — уклон водной поверхности на участке реки, м/м.

Гидравлический радиус - отношение живого сечения реки к ее смоченному периметру. Увеличение гидравлического радиуса приводит и к увеличению коэффициента C .

Из формулы Шези видно, что с увеличением глубины ослабевает влияние шероховатости дна на величину скорости в отдельных точках вертикали и тем самым уменьшается площадь на эпюре скоростей, занятая малыми скоростями. Скорость потока растет с увеличением уклона, но этот рост при турбулентном движении выражен в меньшей мере, чем при ламинарном.

Принцип действия гидрометрических вертушек

основан на закономерной связи между скоростью вращения лопастного винта вертушки и скоростью набегающего потока. Вместе с лопастью вращается втулка, которая передает вращение лопасти на червячную шестерню. Контактный механизм вертушки замыкает электрическую сигнальную цепь через каждый полный оборот червячной шестерни, что соответствует 20 оборотам лопасти вертушки. В момент замыкания цепи вспыхивает лампочка или звенит звонок, что дает возможность фиксировать число оборотов лопастного винта вертушки. С помощью секундомера определяют время с начала работы вертушки (сигнал) до каждого последующего сигнала. Подсчитав общее число оборотов лопасти вертушки и разделив их на время ее работы, определяют скорость вращения лопастного винта (число оборотов в секунду). Для перехода от скорости вращения лопасти вертушки n к скорости течения воды u ; используют *тарировочную кривую* – график зависимости между скоростью течения и числом оборотов лопастного винта в секунду: $u = f(n)$, официальный документ каждой гидрометрической вертушки, прошедшей тарировку в специальном тарировочном бассейне. Малые скорости течения не приводят лопастный винт во вращение. Наименьшая скорость u_0 , при которой силовое воздействие потока на лопастный винт равно величине сопротивлений, а лопастный винт вращается неравномерно, называется начальной скоростью вертушки. Для вертушки ГР-21М начальная скорость составляет 0,04 м/с, а верхняя – 5 м/с.

Для погружения вертушек в воду и установки их в нужных точках живого сечения потока применяют различное установочное оборудование, к которому относятся: штанги, тросы, лебедки, уравнивающие грузы и др.

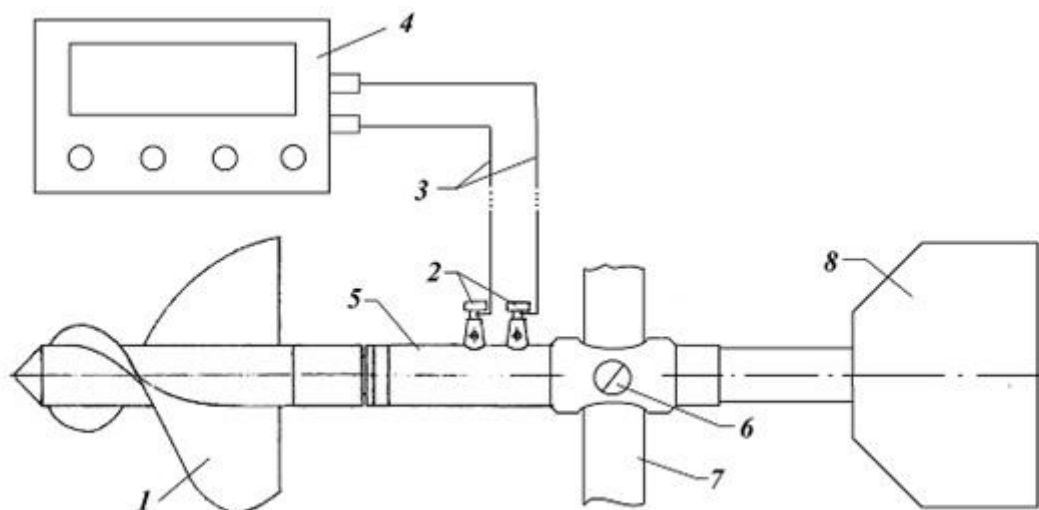
При глубинах до 3 м вертушки погружают в воду при помощи упорных или подвесных штанг, которые представляют собой металлические трубы, размеченные по высоте через каждые 5–10 см. Первые упирают нижним концом в грунт, вторые укрепляют на неподвижной опоре, например на мостике.

При глубинах более 3 м, когда работать со штангой трудно, вертушки опускают в воду при помощи тонких тросиков диаметром 2–4 мм. Глубину погружения вертушки определяют по меткам на тросике или при помощи специального счетчика глубины. К вертушкам прикрепляют чугунный или свинцовый груз весом от 10 до 80 кг, в зависимости от скорости течения. Трос соединяют с вертушкой и грузом специальным устройством, называемым вертлюгом. Опускают и поднимают вертушки ручной лебедкой.

При каждой вертушке должно всегда храниться тарировочное свидетельство, в котором указывают: тип и номер вертушки; дату последней тарировки; организацию, проводившую тарировку; график тарировки или уравнение тарировочной кривой.

Вертушки являются точными приборами, требующими бережного отношения и внимательного ухода. Перед сборкой вертушки необходимо тщательно проверить состояние ее частей, обращая особое внимание на состояние винта, оси прибора, подшипников, контактного устройства и электропроводки. После работы вертушку разбирают на основные части, которые очищают, промывают бензином и протирают сначала насухо, а затем тряпкой, слегка смоченной в масле. При работе зимой вертушка может покрыться льдом, который нельзя удалять ударами или соскабливанием. Для удаления льда вертушку следует опустить в теплую воду. При перевозке вертушку необходимо оберегать от сотрясений.

Рисунок 3. Схема гидрометрической вертушки: 1 – лопастной винт, 2 – клеммы, 3 – сигнальный провод, 4 – преобразователь сигнала вертушки, 5 – корпус вертушки, 6 – стопорный винт, 7 – штанга, 8 – стабилизатор.



Цель работы: составить профиль скоростей течения в реке с помощью гидрометрической вертушки.

Ход работы

1. Выбрать живое сечение на реке.
2. Подготовить вертушку к работе, соединив все узлы, как показано на рисунке.
3. Произвести промеры глубин в выбранном живом сечении.
4. В зависимости от условий на местности, заложить несколько вертикалей в живом сечении. На каждой из вертикалей измерить скорость в 5 точках:
 - у поверхности,
 - на 0,2 глубины;

- 0,6 глубины;
- 0,8 глубины;
- у дна.

При наличии ледяного покрова или растительности прибавляют шестую точку на глубине 0,4d.

5. Среднюю скорость по вертикали вычислить по формуле:

$$u_v = 0,1(u_s + 3u_{0,2} + 3u_{0,6} + 2u_{0,8} + u_b),$$

где u_s , u_b – измеренные скорости, соответственно, у поверхности и у дна.

6. Распределение скоростей по живому сечению представить линиями равных скоростей (*изотаксами*) на чертеже живого сечения.

7. Определить расход воды в реке как сумму:

$$Q = k u_1 w_1 + 0.5 w_2 (u_1 + u_2) + \dots + 0.5 w_n (u_n + u_{n-1}) + k u_n w_{n+1},$$

где k – коэффициент для скоростей или расходов на промерных вертикалях, равный 0,7 при отлогих берегах;

u_1, u_2, \dots, u_n – средние скорости на вертикалях;

w_1, w_2, \dots, w_{n+1} – площади живого сечения между скоростными вертикалями.

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит отличие между живым и мертвым сечением реки?
2. В чем состоит разница между урезом и уровнем воды?
3. Какие факторы оказывают влияние на распределение скоростей течения в реке?
4. Какие параметры входят в формулу Шези для расчета скорости течения?
5. Назовите основные рабочие узлы гидрометрической вертушки.

1.3. Практическая работа №3. Расчет характеристик речного стока. Расчленение гидрографа

Работа выполняется с использованием электронных таблиц

Краткая теория

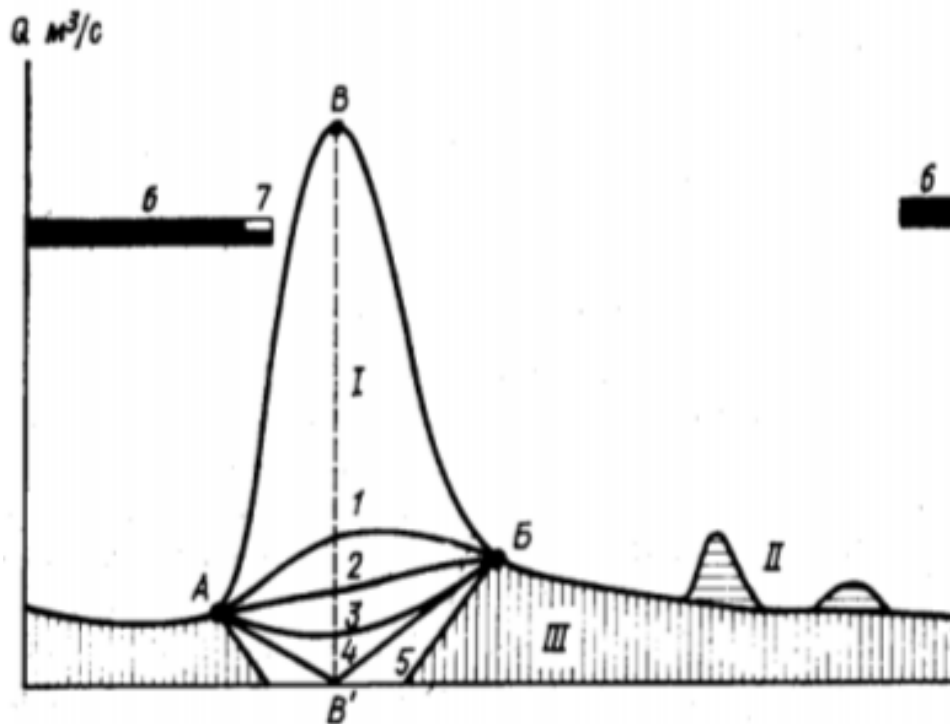
Водный сток рек – основная составляющая речного стока, важнейшее звено глобального гидрологического цикла. Это понятие характеризует одновременно как процесс стекания речных вод в пределах речного водосбора, так и количество стекающей воды. Водный сток зависит от климата, рельефа, глобальных процессов, типа питания реки, гидрологического сезона. *Питание* реки бывает снеговым, дождевым, ледниковым, подземным, смешанным. Оно определяет *водный режим* реки: паводочный (в теплое или холодное время года), с весенним половодьем, с летним половодьем. В общем случае, для рек средней полосы России выделяют следующие *сезоны гидрологического года*: ледостав, зимняя межень, половодье, паводок, летне-осенняя межень. Кроме многолетнего и годового выделяют суточные колебания водности рек. Наблюдения за колебаниями ведутся на гидрологических постах и станциях разного разряда:

- четырёхсрочные (в 2, 8, 14 и 20 часов),
- двухсрочные (в 8 и 20 часов),
- односрочные (в 8 часов).

На постах всех разрядов ведутся наблюдения за уровнем воды, температурой воды, ледовыми явлениями и некоторыми метеорологическими характеристиками. На *расходных (стоковых) речных гидрологических постах* измеряют также расходы воды и ведут учёт стока воды, периодически измеряют мутность воды. Посты, на которых, наблюдают только за уровнем воды, называют *уровенными*. Наблюдения за уровнем воды ведутся с помощью водомерных устройств: водомерных реек, свай, самописцев уровня.

Гидрограф – график изменения во времени расходов воды за год или часть года – сезон, половодье или паводок. Гидрограф реки расчленяют по типу питания. Для этого сток половодья (пик В) принимается за характеристику снегового питания (I на рис.4), паводковые повышения – дождевого (II на рис.4), меженный сток подземного (III на рис.4). Подземный сток половодья можно считать равным нулю в промежутке от А до Б на графике.

Рисунок 4. Расчленение гидрографа реки (объяснения в тексте).



Для характеристики водного стока используют следующие величины.

Объём стока воды (W) – это объём воды, прошедшей через поперечное сечение речного потока за какой-либо интервал времени. Поэтому расход воды можно считать объёмом стока воды за 1 с. Объём стока воды рассчитывают, как

$$W = Q * T,$$

где Q - расход воды, осреднённый за какой-либо интервал времени, T - количество секунд в этом интервале. Выражают объём стока либо в m^3 , либо (для средних и больших рек) в km^3 .

Средний многолетний расход ($Q_{ср}$) - среднее количество воды за многолетний период (t), протекающее через сечение реки на определенном створе:

$$Q_{ср} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t Q_i (m^3/c)$$

Если нужно вычислить *среднемноголетний объём стока* ($W_{ср}$), то среднемноголетний расход воды умножают на 31,56106 (количество секунд в «среднем» году), а результат делят на 109. В итоге получаем объём в km^3 за год.

Слой стока (L) - это количество воды, стекающей с поверхности водосбора реки за какой-либо интервал времени, равное толщине слоя воды, условно равномерно распределённого по площади водосбора (F):

$$L = \frac{W}{F}$$

(в мм за соответствующий интервал времени).

Модуль стока (M) – это количество воды, стекающей с единицы площади водосбора в единицу времени:

$$M = \frac{Q}{F}$$

(в л/(с×км²)).

Коэффициент стока (K) - отношение величины стока воды (объёма или слоя) к количеству выпавших на площадь водосбора атмосферных осадков, обусловивших возникновение этого стока (n):

$$K_w = \frac{W}{n} \text{ или}$$

$$K_L = \frac{L}{n}.$$

Коэффициент стока – величина безразмерная, поэтому величины атмосферных осадков и стока воды должны быть выражены в одинаковых единицах (либо в объёмных единицах, либо в слое).

Модульный коэффициент стока (m) получают как:

$$m = \frac{Q}{Q_{cp}}.$$

Цель работы: количественно охарактеризовать сток заданной реки, построить и расчленить ее гидрограф.

Ход работы

1. По представленным данным о годовом ходе стока реки за один выбранный год построить ее гидрограф. Вычленить типы питания в разные сезоны.

2. Рассчитать слой, модуль, коэффициент стока по многолетнему ряду данных о расходе реки.

3. Рассчитать средний многолетний расход и модульный коэффициент стока.

4. Сделать вывод о преимущественном типе питания реки, ее водности, участии атмосферных осадков в формировании стока, диапазоне колебаний стока.

5. Изучив физическую карту бассейна реки, сделать предположение о роли озер, болот и леса в формировании речного стока.

Контрольные вопросы:

1. В чем отличие уровенных гидрологических постов от стоковых?

2. Какие данные можно получить, изучая гидрограф реки?

3. Какие характеристики речного стока учитывают площадь бассейна реки?

4. Для расчета каких характеристик речного стока требуется наличие ряда многолетних наблюдений?

2. Гидрологические прогнозы и восстановление наблюдений

Работы выполняются с использованием электронных таблиц

Данные для выполнения работ доступны в Государственном водном реестре РФ <http://voda.mnr.gov.ru/activities/list.php?part=45>

Краткая теория

В процессе анализа гидрологических данных часто есть необходимость восстановления наблюдений, пропущенных за отдельные годы, сезоны, месяцы, дни. Основой для этой процедуры служит

норма стока (N) - среднее его значение за многолетний период, включающий несколько полных (четных) циклов колебания водности реки при неизменных географических условиях и одинаковом уровне хозяйственной деятельности в бассейне реки.

Норма стока может быть вычислена путём осреднения годовых величин стока (норма годового стока), стока за половодье (норма стока за половодье), за отдельные месяцы или другие периоды года. Норма стока выражается в модулях стока, в слое стока и в виде среднего многолетнего расхода воды того периода года, для которого она вычисляется. Для установления нормы стока ряд наблюдений должен быть не менее 40...60 лет.

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

- по данным фактических наблюдений над стоком реки за достаточно длительный период, позволяющий определить величину нормы годового стока с заданной точностью;
- методом гидрологической аналогии при недостаточности данных наблюдений;
- методом географической интерполяции при полном отсутствии данных наблюдений;
- по расчетным формулам.

Восстановление или наращивание (прогноз) ряда гидрологических данных предполагает операцию умножения нормы стока на коэффициенты, получаемые различными методами математической обработки данных.

При решении гидрологических задач наиболее широко применяется построение *кривой обеспеченности*. В широком понимании *обеспеченность* -

это вероятность превышения данной величины. Она показывает, во скольких случаях величина гидрологического элемента имела значения, равные и большие определенной величины. Обеспеченность какого-либо гидрологического элемента равна сумме частот вышерасположенных интервалов. Частота показывает, во скольких случаях за рассматриваемый период времени величина гидрологического параметра находилась в определенном интервале. Частота и обеспеченность в гидрологических расчетах чаще всего определяются в процентах от общего числа членов гидрологического ряда. Связь между частотой (y) и обеспеченностью (p) может быть записана в виде:

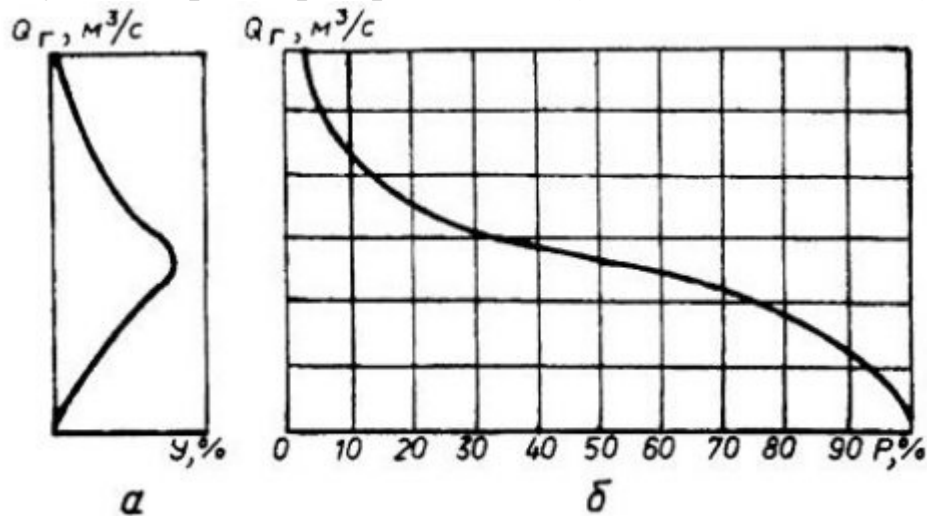
для многоводных лет

$$y = \frac{100}{p},$$

для маловодных лет

$$y = \frac{100}{100 - p}.$$

Рисунок 5. Кривые распределения (а) и обеспеченности (б) речного стока.



Повторяемость и обеспеченность характерных лет

Характеристика водности года	Повторяемость, 1 раз в n лет	Обеспеченность p , %
Очень многоводный	100	1
Средний многоводный	10	10
Умеренно многоводный	4	25
Средней водности	2	50
Умеренно маловодный	4	75
Средний маловодный	10	90
Очень маловодный	33	97
Катастрофически маловодный	100	100

Пример

Дано: среднегодовой расход воды в заданном створе реки изменялся за ряд лет наблюдений от 150 до 350 м³/с.

Найти обеспеченность расхода 200 м³/с.

В гидрологическом ряду 20 значений среднегодовых расходов воды.

6 из них имели величину, равную или большую 200 м³/с.

Все члены ряда группируются по интервалам: 150...200, 200...250, 250...300, 300-350 м³/с.

Подсчитывается количество членов в каждом интервале, эти количества относятся в % к общей длине ряда. Величины расходов ранжируются в порядке возрастания. Строится кривая распределения как зависимость частоты от величины расхода, а также кумулятивная кривая обеспеченности.

Таким образом, можно установить, что расход 200 м³/с обеспечен на 30 %.

Кривая обеспеченности обычно характеризуется тремя параметрами: средним арифметическим значением ряда Q , коэффициентом вариации C_v и коэффициентом асимметрии C_s . С их помощью может быть установлена вероятность превышения или не превышения заданного значения стока.

Коэффициент вариации, или коэффициент изменчивости C_v - безразмерный статистический параметр, характеризующий изменчивость случайной величины (расхода, модуля стока) во времени или пространстве. Он численно равен отношению среднеквадратической ошибки к среднеарифметическому значению членов ряда. Определяется коэффициент вариации по формуле:

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

где K_i – модульный коэффициент стока, определяемый для каждого из членов ряда, n – число членов ряда.

На величину коэффициента C_v оказывают влияние климатические условия, тип питания, искусственное зарегулирование реки, заболоченность, заозеренность, облесенность, распашка ее бассейна. Величина C_v меняется в широких пределах: от 0,05 до 1,50; для лесосплавных рек $C_v = 0,15 \dots 0,40$.

При коротком периоде наблюдений за стоком реки или при их полном отсутствии C_v можно установить по формуле Д.Л. Соколовского:

$$C_v = a - 0,063 \lg(F + 1),$$

В гидрологических расчетах для бассейнов с $F > 1000 \text{ км}^2$ также используют карту изолиний коэффициента C_v , если суммарная площадь озер не более 3 % площади водосбора.

Коэффициент асимметрии C_s характеризует несимметричность ряда рассматриваемой случайной величины относительно ее среднего значения. Чем меньшая часть членов ряда превышает величину нормы стока, тем больше величина коэффициента асимметрии. Коэффициент асимметрии может быть рассчитан по формуле

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

Коэффициент асимметрии неизученных рек устанавливается по соотношению C_s/C_v для рек-аналогов, а при отсутствии достаточно хороших аналогов принимаются средние отношения C_s/C_v по рекам данного района.

2.1. Практическая работа №4. Прогнозирование максимальных расходов воды в реке в период весеннего половодья обеспеченностью превышения

Цель работы: освоить метод построения кривой обеспеченности.

Ход работы

1. Рассчитать модульные коэффициенты стока для каждого члена заданного ряда среднего стока половодья на створе реки (данные см. в Приложении).
2. Построить эмпирические кривые частоты и обеспеченности по заданному ряду. Порядок построения приведен в примере к разделу 2.
3. Рассчитать коэффициенты вариации и асимметрии по формулам, приведенным в подразделе «Краткая теория».
4. Сообразуясь с картой бассейна реки, сделать вывод о возможности экстремальной многоводности реки, влиянии условий бассейна на коэффициенты вариации и асимметрии.

2.2. Практическая работа №5. Прогнозирование расходов воды в реке расчетной вероятностью превышения (обеспеченностью) при отсутствии данных гидрометрических наблюдений

Цель работы: вычислить расход воды в реке расчетной вероятностью превышения 1%.

Ход работы

1. Определить:

- место расположения створа реки;
- размер площади водосбора реки F для заданного створа;
- координаты центра площади водосбора;
- заданный месяц (декада месяца) года, для которого определяется расход воды.

2. По карте «Среднегодовое стока рек» для соответствующих координат центра площади водосбора найти нормальный модуль стока M_0 , л/(с км²).

3. Вычислить среднегодовое стока воды в реке $Q_{см}$, м³/с :

$$Q_{см} = \frac{M_0 F}{1000}$$

4. По карте «Коэффициент вариации среднегодового стока рек» для соответствующих координат центра площади водосбора определить коэффициент вариации C_v .

5. По карте «Районирование величин соотношения C_s/C_v для среднегодового стока рек» для соответствующих координат центра площади водосбора найти отношение C_s/C_v и вычисляют коэффициент асимметрии

$$C_s = (C_s/C_v) * C_v$$

6. По таблице «Отклонение ординат кривой обеспеченности от середины» в соответствии с заданной расчетной вероятностью превышения $p(\%)$ и вычисленным коэффициентом асимметрии C_s найти величину отклонения ординат кривой обеспеченности от середины a_p .

7. Вычислить модульный коэффициент года заданной расчетной вероятностью превышения $p(\%)$

$$K_p = 1 + a_p C_v.$$

8. Вычислить среднегодовой расход воды Q_p года заданной расчетной вероятностью превышения $p(\%)$

$$Q_p = K_p Q_{см}.$$

9. По таблице «Внутригодовое распределение стока рек в модульных коэффициентах» для заданного месяца года определить модульный коэффициент заданного месяца K_m .

10. Вычислить среднемесячный расход (Q_m) воды в реке заданной расчетной вероятностью превышения

$$Q_m = K_m * Q_p.$$

11. Сделать вывод о применимости проведенного расчета с точки зрения безопасности эксплуатации прибрежных сооружений.

2.3. Практическая работа №6. Восстановление пропусков в гидрологических данных методом Фурье-синтеза

Для расчетов используется авторская разработка – книга MS Excel *Фурье-синтез.xlsx*

Краткая теория

При наличии достаточно длинных рядов гидрологических данных с пропусками, процесс их восстановления и прогноза иногда может быть сведен к построению модельной динамики стока на основе спектрального анализа. Правомерность применения такого построения определяется отдельно для каждого створа в зависимости от длины ряда наблюдений, зарегулированности стока, наличия карста, интенсивности хозяйственной деятельности. При достаточно длительных наблюдениях и слабом влиянии перечисленных факторов, сток рек (в особенности, впадающих в океаны) подчиняются определенной периодичности колебаний. В простейшем случае эти колебания представляют в виде серий повышения или понижения водности, например, по 2, 3 или 5 лет. Для более детальных построений можно использовать представление колебаний стока (чаще – модульного коэффициента) в виде рядов Фурье.

Ряд Фурье представляет собой сумму постоянной составляющей (колебание с нулевой частотой) и гармонических колебаний (гармоник) с кратными частотами (ω , 2ω , 3ω , ... и т.д.), образующих дискретный спектр. Каждая гармоника определяется тремя параметрами: амплитудой, частотой и фазой. Разложение в ряд Фурье функции имеет вид:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) . \quad (1)$$

Коэффициенты Фурье a_0 , a_n , b_n вычисляются по формулам численного интегрирования:

$$a_0 = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N Q_k$$

$$a_n \approx \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N y_k \cos\left(n \frac{2\pi}{N} k\right)$$

$$b_n \approx \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N y_k \sin\left(n \frac{2\pi}{N} k\right)$$

Рациональный выбор значений N осуществляется, исходя из максимальной ожидаемой периодичности стока, амплитуду которой мы хотим вычислить.

Амплитуды гармоник:

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

Полагая, что значимыми являются только те гармоники, амплитуды которых явно доминируют, нужно их выделить. При этом во внимание стоит принимать, в первую очередь, продолжительные циклы. Циклы небольшой длительности (2-4 года), накладывающиеся на основные, не учитываются. Однако из циклов порядка, более высокого, чем 4 года, нужно принимать наименьший кратный. Например, при доминирующих амплитудах на $n = 5, 10$ и 15 лет, выбирается 5-летний цикл.

Пример:

Пусть ряд среднегодовых расходов дан в интервале лет [1940; 1990]. В первую очередь, необходимо построить таблицу для $N+1$ отсчетов через равные промежутки времени:

год	1948	1949	1950	19xx
Номер, k	0	1	2	...	k	...	N
Номер года	t_0	t_1	t_2	...	t_k	...	t_N
$Q=y(t)$	y_0	y_1	y_2	...	y_k	...	y_N

Например, в ряду гармоник выделены: $n = 0$ ($A_0 = 15$), $n = 1$ ($A_1 = 5$), $n = 3$ ($A_3 = 4$), с коэффициентами $a_0 = 15$, $a_1 = 5$, $b_1 = 4$, $a_3 = 3$, тогда запишем приближенное выражение для ряда Фурье заданного колебания стока:

$$Q(t) \approx \frac{15}{2} + 5 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) + 4 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) + 3 \cos\left(3\frac{2\pi}{T}t\right), \text{ где } T = 50$$

Цель работы: освоить наращивание ряда гидрологических данных на примере их Фурье-синтеза.

Ход работы

1. Выбрать интервал данных о стоке на заданном створе для проведения моделирования. Привести данные к модульному коэффициенту стока.
2. Ввести в отведенные столбцы на листе «Фурье-анализ» книги *MS Excel Фурье-синтез.xlsx* выбранные данные так, как это показано в примере.

3. Выбрать доминирующие гармоники и вписать их в соответствующие поля на листе «Фурье синтез» книги *MS Excel Фурье-синтез.xlsx*.

4. Ввести в отведенные столбцы на листе «Фурье синтез» книги *MS Excel Фурье-синтез.xlsx* данные: Год, Фактический сток, так, чтобы годы шли без пропусков, а пропуски в значениях стока оставались пустыми ячейками.

5. Построить график (тип диаграммы «Точечная»), на котором по оси абсцисс отложена хронологическая шкала, а по ординат – значения модульного коэффициента стока. На графике должны быть наложены друг на друга две линии: ряд фактических значений и модельный ряд.

6. Сделать вывод о наблюдаемой цикличности колебаний, ее возможных причинах и пригодности модели на основе Фурье-синтеза для наращивания рядов гидрологических данных.

Примерные темы семинарских занятий

Анализ и классификация гидрометрических наблюдений, вклад ученых:

- Н.И. Максимовича,
- Е.В. Оппокова,
- Э.И. Ольдекопа,
- Н.С. Лебявского,
- В.М. Лохтина,
- А.И. Воейкова.

Построение гидрологических прогнозов М. Миланковичем, И.П. Дружининым

Контрольные вопросы:

1. В чем состоит первостепенная важность вычисления нормы стока?
2. Объясните, как строится кривая обеспеченности речного стока?
3. Что характеризуют коэффициенты вариации и асимметрии ряда значений речного стока?
4. В каких случаях используется расчет вероятности превышения значения стока?
5. Какие характеристики бассейна учитываются при расчете среднего многолетнего стока рек, если данных наблюдений нет или не хватает?
6. Каким образом можно восполнить пропуски в наблюдениях за речным стоком?

3. Водохозяйственные расчеты

Краткая теория

Использование воды человеком подразумевает регулирование стока. Под регулированием стока подразумевается его искусственное перераспределение во времени и изменение его режима в соответствии с потребностями различных отраслей хозяйства. Регулирование стока обычно производится с помощью создания водохранилищ. Водохранилище – искусственный водоём, образованный, как правило, в долине реки водоподпорными сооружениями для накопления и хранения воды в целях её использования в народном хозяйстве. Для характеристики водохранилищ обычно используют те же гидрометрические величины, что и для характеристики озер: площадь зеркала, длина, ширина, большая ось, максимальная ширина, длина береговой линии, коэффициент извилистости, средняя глубина, угол наклона котловины, объем. Кроме того, к водохранилищам применяются особые характеристики (рис.6):

НПУ (НПГ) – нормальный подпорный уровень (горизонт) , проектная расчетная абсолютная отметка уровня воды, высший подпорный уровень, который плотина может поддерживать в течение длительного времени при обеспечении нормальной эксплуатации всех сооружений;

УМО – уровень мертвого объема, предельный уровень воды, ниже которого водохранилище нельзя сбрасывать, или минимальный уровень, обеспечивающий нормальную эксплуатацию;

МО – мертвый объем, объем водохранилища ниже УМО, предназначается для заиления наносами;

ПО – полезный объем, сливная призма, заключен между НПУ и УМО;

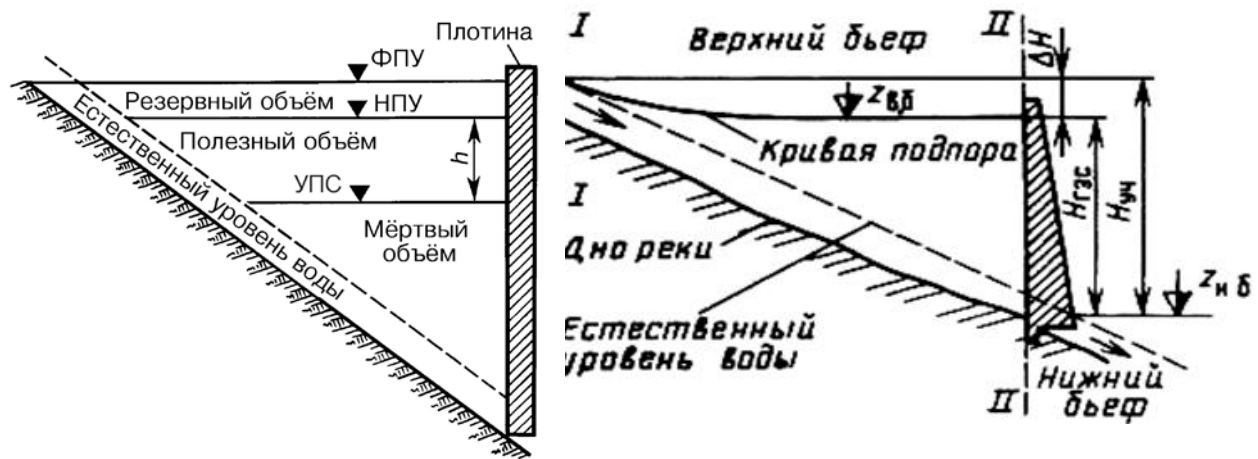
ФПУ – форсированный подпорный уровень, максимальный расчетный уровень, соответствующий условиям пропуска максимального расхода воды в период паводка или половодья, обеспечивающий сохранность сооружений;

УКП – уровень катастрофического паводка, наивысший уровень, до которого может подняться вода при пропуске наибольшего расчетного паводка;

УВБ – уровень верхнего бьефа, абсолютная отметка уровня воды в верхнем бьефе плотины;

УНБ – уровень нижнего бьефа, абсолютная отметка уровня воды в нижнем бьефе плотины.

Рисунок 6. Схема водохранилища.



Влияние водохранилищ на режим рек и окружающую среду:

- Замедляют водообмен в гидрографической сети речных бассейнов в 4–5 раз. Наиболее сильно замедлился водообмен в речных системах Азии (в 14 раз) и Европы (в 7 раз). После сооружения каскада водохранилищ водообмен в бассейнах рек Волги и Днепра замедлился в 7–11 раз.
- Увеличивают объём вод суши приблизительно на 6,6 тыс. Км³. Для рек бывшего СССР водохранилища увеличили среднее время пребывания вод в речных системах с 22 до 89 суток.
- Уменьшают сток воды вследствие возрастания водозабора на хозяйственные нужды и дополнительных потерь на испарение с поверхности водоёма
- Уменьшение стока наносов, биогенных и органических веществ вследствие их накопления в водоёме. В XX в. сток наносов всех рек мира под влиянием водохранилищ уменьшился на 25%. Это может вызвать нарушение баланса наносов в устьях рек и стимулировать частичное волновое разрушение дельты и соседних морских берегов, как это произошло в 1970-х гг. в устье Нила после возведения высотной асуанской плотины и создания водохранилища Насер.
- Увеличивают потери на испарение.
- Выравнивают температуру воды в реке. Например, на Енисее ниже Красноярского водохранилища температура воды стала в мае–июне на 7–9°С и в июле–августе на 8–10°С ниже, а в сентябре на 8° и в октябре на 9°С выше, чем до зарегулирования реки.
- Изменяют микроклиматические условия - выравнивание внутригодовых колебаний температуры воздуха, усиление ветра, некоторое увеличение влажности воздуха и атмосферных осадков, волновой размыв берегов.
- Считается, что могут привести к увеличению сейсмичности в горных районах - дополнительный вес накопленных в водохранилище вод усиливает внутреннее напряжение в горных породах, нарушает их устойчивость и приводит к землетрясениям.

Мероприятия с целью предотвращения нежелательных последствий:

- инженерная защита от затопления территорий и объектов;
- переселение жителей, перенос предприятий, дорог и т. д.,
- очистка ложа водохранилища от леса и кустарников,
- создание водоохраных зон;
- восстановление лесных, рыбных, охотничьих и других ресурсов;
- транспортное, рыбохозяйственное, рекреационное и другое освоение водоёма,
- инженерное обустройство акватории и береговой зоны водохранилища и т. д.

3.1. Практическая работа №7. Расчет проектного полезного объема водохранилища на основании данных о водном балансе водохозяйственного района

Цель работы: рассчитать полезный объем водохранилища, необходимый для обеспечения нужд водохозяйственного района.

Ход работы

1. Составить детальный водный баланс ВХР отдельно для межени и половодья/паводка на основании приходных и расходных статей ($\text{м}^3/\text{сутки}$).

Приходные статьи

гидрометрические:

Многолетний расход реки в период половодья / паводка с расчетной вероятностью превышения 1% в верхнем створе – $Q_{в\%}$,

Средний многолетний расход реки в период межени в верхнем створе - $Q_{вм}$,

Боковой приток в период половодья / паводка с расчетной вероятностью превышения 1% в верхнем створе – $Q_{б\%}$,

Средний многолетний расход реки в период межени в боковом притоке - $Q_{бм}$,

Сброс коллекторно-дренажной сети – Q_c ;

гидрогеологические:

фильтрационный приток – $Q_{ф}$,

подземные воды глубоких водоносных горизонтов – $Q_{гл}$,

возврат оросительных систем подземным путем – $Q_{ор}$;

гидрофизические:

русловое регулирование (возврат воды из емкостей русла при повышении уровня) – $Q_{рр}$,

осадки – $Q_{ос}$,

поступление от таяния льда – $Q_{л}$.

Расходные статьи

гидрометрические:

Средний многолетний расход реки в период половодья / паводка в нижнем створе – $-Q_{н}$,

Средний многолетний расход реки в период межени в нижнем створе – $-Q_{нм}$,

Русловой водозабор – $-Q_{вз}$,

Проектный прирост водопотребления - $-Q_{шт}$;

гидрогеологические:

фильтрационный отток в берега – $-Q_{\phi}$;

гидрофизические:

русловое регулирование (аккумуляция воды в емкостях русла) – $-Q_{pp}$,

расход на ледообразование – $-Q_{л}$,

испарение – $-Q_{и}$,

транспирация влаги растениями – $-Q_{тр}$.

2. Рассчитать дефицит водного баланса ($m^3/сутки$), используя формулу:

$$Q_{в\%} + Q_{вм} + Q_{б\%} + Q_{бм} + Q_c \pm Q_{\phi} + Q_{гл} + Q_{ор} \pm Q_{pp} + Q_{ос} \pm Q_{л} - Q_{н} - Q_{нм} - Q_{вз} - Q_{пп} - Q_{и} - Q_{тр} = K.$$

3. Определить длительность дефицитного периода в количестве дней в году (n).

4. Рассчитать резервный объем воды (полезный объем проектируемого водохранилища), необходимый для покрытия дефицита, как

$$ПО = -K * n.$$

5. Сделать вывод о необходимости организации водохранилища для данной территории.

Таблица. Пример составления водного баланса ВХР.

	Модульный коэф.стока				Среднего дового значение
	Половод	Паводок	Л.межен ь	З.межень	
<i>длительность фазы</i>					
Гидрометрический приход					18,11667
на верхнем створе расход	1,4	1,1	0,6	0,5	16,667
боковые притоки	1,4	1,1	0,6	0,5	0,150
сбросные воды	1,3	1,3	0,75	0,4	1,300
Гидрофизический приход					0,100
Осадки	0,8	0,8	1,4	0	0,033
таяние	1	0	0	0	0,050
возврат руслового регулирования при паводках	1,2	0,8	0	0	0,017
Гидрогеологический приход					0,01
добыча артезианских вод	постоянна				0,005
фильтрационный приток	0	0,2	1,2	0,7	0,005
Гидрометрический расход					19,7
Расход на нижнем створе	1,4	1,1	0,6	0,5	15,85
водозабор	постоянный				3,85
Гидрофизический расход					0,117
испарение	0,6	0,95	1,2	0,1	0,05
потери на ледообразование				1	0,05
аккумуляция в русловых емкостях			1	1	0,017
Гидрогеологический расход					
отток в берега	1,2	0,9	0	0,1	0,05

Примерные темы семинарских занятий

Водохозяйственные расчеты и проекты И. Ньютона, Л. да Винчи, М.В. Ломоносова.

Обзор характеристик водохранилищ

- мира: Виктория, Кариба, Насер, Вольта, каскад Янцзы
- России: Братское, Куйбышевское, Саяно-Шушенское, Рыбинское, Цимлянское, Усть-Илимское, Иркутское
- Татарстана: Заинское, Нижнекамское, Карабашское.

Гидрометрические наблюдения при проектировании гидротехнических сооружений:

- ГЭС,
- дамбы,

- каналы,
- польдеры,
- оросительные системы,
- городская канализация.

Контрольные вопросы:

1. Для чего и каким образом происходит регулирование стока рек?
2. Какие сооружения можно отнести к гидротехническим?
3. Какие количественные характеристики применяют к водохранилищам?
4. Каким образом создание водохранилищ изменяет свойства прилегающих территорий?
5. Какие мероприятия необходимо осуществлять для поддержания водохранилищ в рабочем состоянии и минимизации их отрицательного воздействия на природу?

4. Расчеты, связанные с охраной вод

4.1. Практическая работа №8. Определение характеристик твердого стока реки

Краткая теория

На протяжении всего течения по поверхности земли река совершает работу. Эта работа, в первую очередь, выражается в процессах формирования русла, а также *твердого стока рек*. Твердый сток – отличительный элемент рек на фоне остальных поверхностных вод суши. Он представляет собой влекомые водой в русле твердые частицы. *Энергия реки* (т.е. ее способность совершать работу) зависит от массы движущейся воды и скорости потока. Массы частиц, перемещаемых потоком пропорциональны скорости течения, взятой в шестой степени (закон Эри).

На формирование твердого стока оказывают влияние факторы:

- Литолого-петрографический состав – чем более рыхлые породы вскрывает русло, тем больше твердый сток;
- Расчлененность речного бассейна – связана с твердым стоком положительно;
- Наличие древесной растительности – уменьшает твердый сток;
- Продольный профиль реки, уклон, падение русла: на равнинных реках большую часть твердого стока составляет тонко-дисперсный материал. Соотношение взвешенных : влекомых частиц составляет 10 : 1 на равнинных реках и 1 : 10 – на горных;
- Количество осадков: энергии сильных дождей и потоков при интенсивном снеготаянии достаточно, чтобы полностью смыть верхние десятки сантиметров рыхлой породы;
- Распашка, разработка территорий бассейна, особенно в прибрежной и пойменной части.

С учетом последнего фактора, вдоль рек выделяют *водоохранную зону*. Согласно ч. 1 ст. 65 Водного кодекса Российской Федерации водоохранными зонами являются территории, которые примыкают к береговой линии морей, рек, ручьев, каналов, озер, водохранилищ и на которых устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиления указанных водных объектов и истощения их вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира. За пределами территорий населенных пунктов ширина водоохранной зоны рек, ручьев, каналов, озер, водохранилищ и ширина их прибрежной защитной

полосы устанавливаются от соответствующей береговой линии. На территориях населенных пунктов при наличии централизованных ливневых систем водоотведения и набережных границы прибрежных защитных полос совпадают с парапетами набережных. Ширина водоохранной зоны рек или ручьев устанавливается от их истока для рек или ручьев протяженностью:

- до десяти километров - в размере пятидесяти метров;
- от десяти до пятидесяти километров - в размере ста метров;
- от пятидесяти километров и более - в размере двухсот метров.

Ширина водоохранной зоны озера, водохранилища, за исключением озера, расположенного внутри болота, или озера, водохранилища с акваторией менее 0,5 квадратного километра, устанавливается в размере пятидесяти метров.

Чрезмерное повышение содержания твердых частиц в воде приносит вред сооружениям и окружающей среде. Взвеси и влекомый материал приводят к износу систем канализации, плотин, мостов и пр. Следствием избыточного количества твердых частиц является падением *прозрачности* воды (рост *мутности*), что ведет к замедлению (или невозможности) фотосинтеза, гибели донных организмов, икры, концентрированию на поверхности взвешенных частиц патогенных микроорганизмов и токсичных веществ. Твердый сток выражается *количеством взвешенных частиц* в воде (КВЧ), мг/л. КВЧ является одним из критериев нормирования качества вод. Нормы содержания взвешенных частиц составляют

- для питьевых вод – 25 мг/л,
- для рекреационных вод – 75 мг/л.

Расчеты содержания ведут по взвесям со скоростями выпадения

- менее 2 мм/сек – для проточных водоемов и водотоков,
- менее 4 мм/сек – для озер.

Для водоемов и водотоков умеренного климата расчет КВЧ проводят для сезонов гидрологического года:

- ноябрь – март (ледостав, зимняя межень),
- апрель – июнь (половодье, паводки),
- июль – август (летняя межень),
- сентябрь – октябрь (дождевые паводки).

Расчет необходимой кратности разбавления (К) стока взвешенных частиц ($q \cdot C_{ст}$), собираемого системой ливневой канализации, перед сбросом в водоток

с собственным расходом Q и концентрацией взвеси $C_{\text{фон}}$ производят по формуле:

$$K = \frac{1}{C_{\text{ПДК}}} \frac{C_{\text{ст}} * q + C_{\text{фон}} * Q}{\gamma Q + q}$$

где γ – коэффициент перемешивания стока с территории с русловыми водами, $C_{\text{ст}}$ – концентрация взвешенных частиц в водах ливневого коллектора.

Методы определения твердого стока

Визуальное определение прозрачности воды проводят с помощью диска Секки или эталонного шрифта. Диск Секки представляет собой белый металлический диск диаметром 15 см, который опускается в воду. Прозрачность воды в таком случае устанавливают с метрах глубины, на которой диск перестает быть отчетливо виден. Диск Секки удобен для полевых измерений в руслах.

Метод эталонного шрифта предполагает установку сосудов с анализируемой водой над отчетливо видимым текстом на листе бумаги. Прозрачность выражают в % от расстояния, на котором текст перестает быть различим под аналогичным сосудом с дистиллированной водой.

Турбидиметрическое определение мутности проводят на спектрофотометре, после его калибровки по эталонам мутности (например, суспензии каолина). Мутность определяют по оптической плотности, зная ее зависимость от КВЧ в эталонных суспензиях. Полученное значение выражают в мг/л.

Гравиметрическое определение КВЧ происходит после фильтрования строго определенного объема анализируемой воды через предварительно взвешенный бумажный фильтр. Фильтр помещают в стакан и досушивают при 105 °С до постоянного веса. Вес сухого остатка на фильтре соответствует КВЧ во взятом объеме пробы.

Цель работы: освоить гравиметрический метод определения КВЧ в стоке с территории.

Ход работы

1. В зависимости от сезона года подготовить пробу талого снега или дождевой воды из системы ливневой канализации, не менее 2 литров на бригаду.
2. Высушить и взвесить 3-4 кружка фильтровальной бумаги.

3. Профильтровать полностью 2 литра воды, предварительно взбалامутив осевшую взвесь, через взвешенные фильтры, установленные на стеклянные воронки. Следить, чтобы не было прорывов бумаги!

4. Мокрые фильтры аккуратно положить в стаканы тонкого стекла. Стаканы поставить в разогретый шкаф на 105 °С. Довести до постоянного веса.

5. Вычислить суммарный вес взвеси на всех фильтрах. Рассчитать КВЧ в 1 литре пробы.

6. По справочным данным определить среднемноголетний сток за сезон и рассчитать КВЧ, попадающее в реку за этот период.

7. Сделать вывод о необходимости разбавления стоков ливневой канализации перед сбросом в реку, используя формулу из краткой теории к данной работе.

8. Сделать вывод о соответствии речной воды стандартам качества, основываясь на КВЧ.

Примерные темы семинарских занятий

Гидрологические наблюдения за стихийными бедствиями: наводнениями, селями, цунами.

Причины колебаний уровней воды водоемов и водотоков:

- сейши,
- сгонно-нагонные волны,
- приливо-отливные колебания в устьевых створах,
- перекося свободной поверхности рек на поворотах,
- ледовые явления.

Контрольные вопросы:

1. Что подразумевают под твердым стоком реки, каково его количественное выражение?
2. Каковы основные факторы формирования твердого стока с бассейна реки?
3. Как и для чего устанавливают водоохранную зону рек?
4. Опишите известные вам методы характеристики твердого стока рек.

Литература

Специальная:

1. Динамика гидрографической сети неприливых устьев рек / В.Н.Михайлов и др. - М.: Гидрометеиздат, 1977. - 294 с.
2. Динамика многолетних колебаний речного стока / И.П.Дружинин, В.Р.Смага, А.Н.Шевнин - М.: Наука, 1991. - 176 с.
3. Ефимович П.А. Вопросы водохозяйственных расчетов и гидрологии - М.- Ленинград: Объединенное научно-техническое издательство, 1936. - 320 с.
4. Природа многолетних колебаний речного стока / под ред. И.П. Дружинина - Новосибирск: Наука, 1976. - 335 с.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР, т.3, Северный край - М.: Гидрометеиздат, 1972.
6. Сток и гидрологические расчеты / под ред. Д.Л.Соколовского - Ленинград: Гидрометеиздат, 1946. - 134 с.
7. Оппоков Е.В. Режим речного стока в бассейне верхнего Днепра - С.-Пб.: Т-во художественной печати, 1904. - 540 с.

Электронные ресурсы:

8. Водный реестр РФ <http://www.textual.ru/gvr/index.php?bo=0> , дата обращения: 02.02.2018
9. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2016 году» <http://water-rf.ru/water/gosdoc/allyears> , дата обращения 03.02.2018
10. Водный Кодекс Российской Федерации Принят Государственной Думой 12 апреля 2006 года Одобрен Советом Федерации 26 мая 2006 года http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/ , дата обращения 02.02.2018

Приложения

Приложение 1. Пример данных Водного реестра РФ о гидрометрических постах

Название водного объекта и пункта наблюдений	Код пункта наблюдений	Код водного объекта	Расстояние		Площадь	Период действия		Отметка нуля	
			(км.) от			водосбора, кв. км.	число, месяц, год	поста	
			исток а	устья	открыт			закрыт	высота, м.
						5	6		
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
р.Колыма - с.Оротук	01001	119000001	70.0	2059	42600	01.01.1955	Действ.	478.24	БС

р.Пахача – пос.Средние Пахачи	02001	120000462	246	47.0	10900	15.03.1973	Действ.	5.00	усл.
-------------------------------	-------	-----------	-----	------	-------	------------	---------	------	------

р.Лена – ГМС Джарджан	03052	117100001	3782	512	2260000	27.08.1943	Действ.	11.34	БС
-----------------------	-------	-----------	------	-----	---------	------------	---------	-------	----

р.Уссури - пос.Ясное	05761	118105142	64.0	834	775	01.10.1999	Действ.	294.50	усл.
----------------------	-------	-----------	------	-----	-----	------------	---------	--------	------

р.Амур - с.Помпеевка	06032	118100001	1376	1448	862000	18.04.1934	13.04.1984	67.27	БС
р.Селенга - с.Мурзино	07054	116300691	384	25.0	446000	20.04.1962	01.04.1988	45.00	усл.

р.Енисей – ГМП "Селение Байкалово"	09815	116100001	3328	159	2560000	01.01.1953		-0.01	БС
------------------------------------	-------	-----------	------	-----	---------	------------	--	-------	----

р.Иртыш - г.Ханты-Мансийск	11061	115101057	25.0	20.0	1650000	13.10.1893	Действ.	17.22	БС
----------------------------	-------	-----------	------	------	---------	------------	---------	-------	----

р.Волга - г.Кострома	36412	110000001	986	2545	184000	01.08.1876	06.1956	76.02	БС
----------------------	-------	-----------	-----	------	--------	------------	---------	-------	----

р.Суна - водопад Гирвас, ниже водопада	48041	102001481	215	64.8	5840	28.07.1911	31.12.1935	78.80	усл.
--	-------	-----------	-----	------	------	------------	------------	-------	------

р.Мезень - д.Малонисогорская	70844	103004305	780	186	56400	05.09.1931	Действ.	18.45	БС
------------------------------	-------	-----------	-----	-----	-------	------------	---------	-------	----

р.Онега - д.Порог	70842	103000001	385	31.0	55700	21.08.1912	Действ.	10.25	БС
-------------------	-------	-----------	-----	------	-------	------------	---------	-------	----

р.Днепр - г.Смоленск	79011	105000704	410	1735	14100	10.11.1976		162.69	БС
----------------------	-------	-----------	-----	------	-------	------------	--	--------	----

р.Дон - г.Ростов-на-Дону	7881 0	10700000 1	1826	44.0	42100 0	13.08.187 6	Действ .	- 0.09	(БС77)
--------------------------	-----------	---------------	------	------	------------	----------------	-------------	-----------	------------

р.Свияга - с.Гаврилково	7714 8	11210019 7	361	14.0	17400	27.06.193 2	15.01.193 6	29.0 0	усл .
-------------------------	-----------	---------------	-----	------	-------	----------------	----------------	-----------	----------

р.Кама - г.Чистополь	7701 9	11110000 1	1675	130	51600 0	02.10.187 6	14.06.195 6	43.6 9	Б С
----------------------	-----------	---------------	------	-----	------------	----------------	----------------	-----------	--------

р.Волга - с.Верхний Услон	7701 0	11000000 1	1699	1832	64800 0	02.09.187 6	12.06.195 6	42.0 8	Б С
---------------------------	-----------	---------------	------	------	------------	----------------	----------------	-----------	--------

Приложение 2. Жидкий и твердый сток зимней межени р. Мезень, п. Малонисогорская в период с 1941 по 1987 гг., тыс.куб.км за сезон

дата	Жидкий сток	ионный сток, мг/л						
	Q	Ca	Mg	Na+K	HCO ₃	SO ₄	Cl	miner
01.03.1941	114,000	41,60	9,60	8,20	170,80	5,90	10,00	246,10
31.03.1949	168,000	26,00	7,30		122,00	8,20	8,50	184,80
16.02.1950	158,000	31,40	8,40		151,30	12,00	7,60	227,70
25.12.1950	236,000	25,40	6,90		120,80	9,10	8,20	183,90
25.02.1951	168,000	26,30	7,10		123,30	10,20	10,10	192,50
27.12.1951	237,000	22,80	5,80		109,20	9,40	6,70	167,90
15.03.1952	177,000	26,60	6,90		128,10	13,00	7,40	199,00
30.11.1953	172,000				104,30	9,90	5,20	
12.03.1954	119,000	28,40	14,90	1,00	136,10	12,50	7,30	200,20
29.03.1955	115,000	30,60	11,80	3,50	139,70	8,20	6,50	200,30
21.03.1956	95,000	31,60	20,80	2,50	176,30	12,80	8,30	252,30
09.11.1956	283,000	25,20	8,10	5,20	103,70	15,60	4,20	162,00
15.03.1957	121,000	19,60	13,40	5,50	115,30	11,20	6,50	171,50
29.03.1958	140,000	21,50	15,60	6,50	127,50	14,20	7,90	193,20
21.03.1959	125,000	24,40	15,00	1,00	136,00	4,20	6,20	186,80
23.10.1959	315,000	13,10	9,40	1,20	73,20	9,00	2,90	108,80
30.03.1960	105,000	28,10	17,10	3,50	153,70	12,20	6,40	221,00
18.10.1960	223,000	24,80	4,60	9,20	103,70	6,10	5,70	154,10
21.03.1961	112,000	26,40	4,90	1,80	83,60	11,20	6,70	134,60
24.03.1962	141,000	27,10	15,00	4,20	140,30	13,20	6,00	205,80
12.04.1963	113,000	26,20	8,40	5,00	103,70	11,80	8,70	163,80
10.04.1964	134,000	33,70	13,60	8,50	162,90	13,50	6,70	238,90

31.03.1965	108,000	34,80	9,20	2,20	101,90		9,50	188,70
25.03.1966	114,000	32,90	10,20		163,50		9,30	251,00
28.03.1967	125,000	31,00	7,40		146,40		7,40	233,40
20.03.1968	126,000	31,50	9,10		162,30		5,70	247,50
25.03.1969	101,000	32,80	7,00		165,90		8,00	250,00
29.03.1971	131,000	26,30	9,20		151,90		9,40	237,00
28.03.1972	188,000	28,60	7,50		140,30		9,30	229,60
15.04.1972	196,000	37,90	7,40		131,20		2,90	199,60
28.03.1973	117,000	29,00	8,30		141,50		6,60	235,30
16.10.1973	353,000	17,50	4,60		80,50		2,70	121,70
28.03.1974	131,000	24,60	7,00		115,30		9,10	194,90
07.04.1975	157,000	25,90	8,30		137,90		7,10	211,40
09.04.1976	132,000	27,80	7,30		139,10		9,20	197,00
06.04.1977	147,000	28,20	8,00		153,10		8,90	220,50
21.03.1978	133,000	30,40	10,00		162,30		6,80	247,40
27.03.1979	102,000	29,00	8,10		152,50		10,30	237,90
24.03.1980	135,000	30,60	9,70		148,90		8,30	230,50
05.03.1981	143,000	28,00	8,00		145,20		8,20	211,90
21.02.1983	167,000	26,60	7,40		136,00		5,70	206,50
25.03.1984	161,000	28,40	8,40		145,20		7,00	224,70
04.04.1985	138,000	25,50	7,80		136,70		7,30	203,90
13.12.1985	187,000	25,90	7,40		125,70		4,50	190,10
27.03.1986	107,000	27,90	8,60		153,30		5,00	232,10
13.03.1987	117,000	30,10	8,50		164,10		7,20	250,90
24.11.1987	144,000	28,10	4,30		137,90		6,90	207,90

Приложение 3. Жидкий и твердый сток летне-осенней межени р. Мезень, п. Малонисогорская в период с 1940 по 1988 гг., тыс.куб.км за сезон

дата	Жидкий сток Q	ионный сток, мг/л						
		Ca	Mg	Na+K	HCO ₃	SO ₄	Cl	miner
03.10.1940	512,000	21,40	6,60	1,95	91,50	4,30	7,00	135,30
25.09.1949	344,000	23,70	6,20	1,95	100,70	7,40	8,20	155,20
25.10.1949	1900,000	9,70	2,70	1,95	38,40	3,60	5,20	63,50
15.09.1950	343,000	20,00	5,50	1,95	92,80	7,70	6,50	142,80
30.09.1951	736,000	13,90	4,20	2,80	59,80	3,50	3,40	87,60
25.08.1952	427,000	9,10	4,40	0,50	40,90	2,90	3,70	61,50
25.09.1952	1330,000	9,70	2,40	1,00	36,00	3,40	2,30	54,80
30.09.1953	353,000	17,25	5,67	1,95	71,40	6,40	3,80	122,34
26.10.1953	441,000	16,20	4,90	1,50	64,10	6,20	3,10	96,00
31.10.1953	478,000	17,25	5,67	1,95	73,80	6,80	3,80	122,34
30.07.1954	211,000	12,80	13,60	8,80	105,00		6,50	157,00

04.09.1955	242,000	31,60	6,10	2,00	107,40		6,40	164,00
27.07.1956	1130,000	10,00	1,20	0,80	27,50		2,20	47,50
13.06.1957	1500,000	3,90	3,00	1,00	21,40		2,00	34,80
24.08.1957	248,000	23,60	11,40	2,00	111,10		5,70	164,30
06.08.1958	348,000	15,00	12,50	1,00	98,20		1,90	136,20
06.11.1958	846,000	4,80	9,70	1,50	57,40		1,50	80,70
03.06.1959	938,000	7,20	6,80	2,50	41,50		0,80	74,40
31.07.1959	259,000	15,10	13,40	2,50	94,60		5,40	143,20
01.10.1959	1210,000	8,00	3,60	2,00	33,60		0,90	57,60
26.06.1960	2590,000	6,80	6,30	1,00	43,90		1,60	66,00
30.07.1960	270,000	31,60	5,10	4,20	105,50		5,70	165,40
30.06.1961	775,000	15,20	4,60	2,80	65,90		1,70	95,80
08.07.1961	1270,000	10,00	1,70	1,80	34,20		1,30	54,10
09.08.1961	237,000	21,00	12,90	1,80	107,40		6,40	160,90
14.09.1961	701,000	16,80	6,80	4,00	69,50		4,80	115,50
10.11.1961	989,000	16,40	2,60	0,80	55,50		1,90	82,10
10.07.1962	332,000	19,40	11,20	4,00	98,20		4,10	152,90
17.09.1962	732,000	16,20	6,60	2,20	73,90		2,00	109,10
27.06.1963	1040,000	12,20	3,50	0,80	38,80		1,20	68,80
09.08.1963	322,000	26,60	8,30	1,00	100,00		4,10	153,80
08.09.1963	248,000	22,30	5,50	7,80	89,70		6,30	142,00
25.09.1963	1290,000	16,10	5,00	1,20	59,80		1,90	95,10
30.10.1963	705,000	17,30	5,60	1,00	66,50		1,60	103,10
31.08.1964	224,000	20,50	9,60		111,00		8,10	180,20
29.09.1964	1390,000	11,80	4,30		42,50		1,80	90,00
05.11.1964	998,000	13,50	4,70		40,90		2,90	81,80
10.07.1965	1340,000	11,50	3,30		39,00		2,80	69,50
09.08.1965	268,000	21,50	6,10		97,60		7,80	155,60
10.08.1966	241,000	27,20	6,70		126,90		3,70	196,20
15.09.1966	712,000	17,20	4,60		70,80		2,80	110,50
16.10.1966	1970,000	14,00	3,50		19,50		1,20	73,50
20.07.1967	234,000	24,50	6,60		122,60		4,80	200,40
23.10.1967	1190,000	13,80	3,20		42,70		2,70	77,30
23.11.1967	442,000	17,60	3,90		75,60		2,40	121,20
09.08.1968	663,000	17,10	5,80		82,40		3,80	164,80
18.10.1968	331,000	22,20	5,80		85,40		2,30	129,90
18.08.1969	386,000	25,40	7,00		108,00		3,90	166,70
07.09.1969	708,000	16,20	5,10		71,40		3,70	111,20
07.09.1971	530,000	16,40	5,20		78,10		1,50	118,30
04.10.1971	825,000	15,50	2,50		51,80		10,50	98,50
18.10.1971	439,000	18,40	5,60		71,40		4,40	112,30
23.08.1972	134,000	21,50	6,40		109,20		7,50	172,90

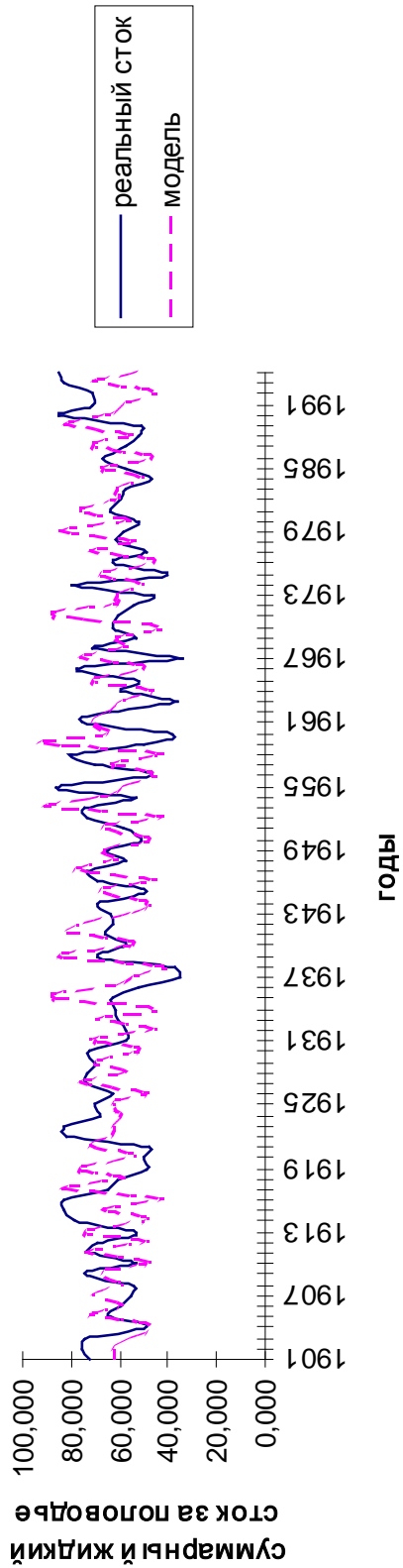
26.09.1972	146,000	21,60	7,30		113,50		7,00	182,10
01.11.1972	258,000	16,50	4,90		58,00		4,80	104,40
20.07.1973	222,000	24,90	6,90		119,60		9,10	195,00
05.08.1973	343,000	12,80	12,20		124,40		4,30	178,40
24.07.1974	285,000	16,10	5,70		100,00		10,40	178,70
12.09.1974	417,000	16,00	5,10		65,30		4,60	103,60
22.10.1974	337,000	19,90	5,80		94,60		6,90	141,60
06.08.1975	272,000	21,80	6,70		109,80		2,60	168,70
09.10.1975	945,000	13,40	3,40		46,40		3,50	80,30
22.10.1975	393,000	15,70	5,20		76,90		1,00	120,50
10.08.1976	375,000	16,40	6,10		83,60		6,60	126,00
07.09.1976	517,000	14,20	4,60		68,90		6,00	102,40
14.10.1976	383,000	20,00	3,60		79,90		4,50	118,90
26.07.1977	366,000	18,40	4,80		87,20		6,00	136,40
17.10.1977	470,000	15,90	3,40		60,40		4,90	92,10
08.08.1978	292,000	21,20	7,30		73,80		21,70	135,70
27.09.1978	360,000	18,60	5,70		89,10		4,00	125,00
21.10.1978	500,000	15,60	4,50		68,30		4,30	100,90
23.07.1979	433,000	16,60	4,40		79,30		4,80	137,90
09.09.1979	781,000	13,40	3,60		58,60		3,10	92,60
22.10.1979	508,000	18,00	4,10		73,80		5,00	112,70
23.08.1980	214,000	27,50	7,00		139,10		9,10	206,50
06.09.1980	257,000	29,10	6,40		131,80		5,70	192,60
27.10.1980	311,000	20,00	6,30		94,00		5,30	153,40
04.10.1981	426,000	19,40	5,60		90,30		4,40	134,20
14.07.1982	457,000	18,30	5,60		84,80		4,70	124,70
18.10.1982	444,000	16,10	5,70		67,70		4,50	108,70
07.10.1984	437,000	19,40	5,50		95,80		4,40	142,80
05.08.1985	169,000	21,80	6,20		111,00		6,60	177,50
24.09.1985	254,000	23,60	7,30		119,00		6,30	188,50
01.10.1985	503,000	15,20	4,40		60,40		4,90	101,20
07.08.1986	268,000	19,10	5,50		92,80		5,80	148,50
28.09.1986	382,000	18,30	4,10		79,30		4,80	124,00
16.10.1986	491,000	16,30	3,50		62,80		11,50	111,60
03.09.1987	1460,000	13,40	3,40		53,10		2,40	83,40
04.10.1987	590,000	16,60	4,50		73,80		3,80	118,50
07.08.1988	255,000	20,60	4,90		95,80		4,50	148,00
18.09.1988	246,000	22,00	6,10		106,20		3,70	167,40
22.10.1988	470,000	16,50	4,70		74,40		3,40	115,80

Приложение 4. Жидкий сток половодья р. Мезень, п. Малонисогорская в период с 1961 по 1993 гг., тыс.куб.км за сезон

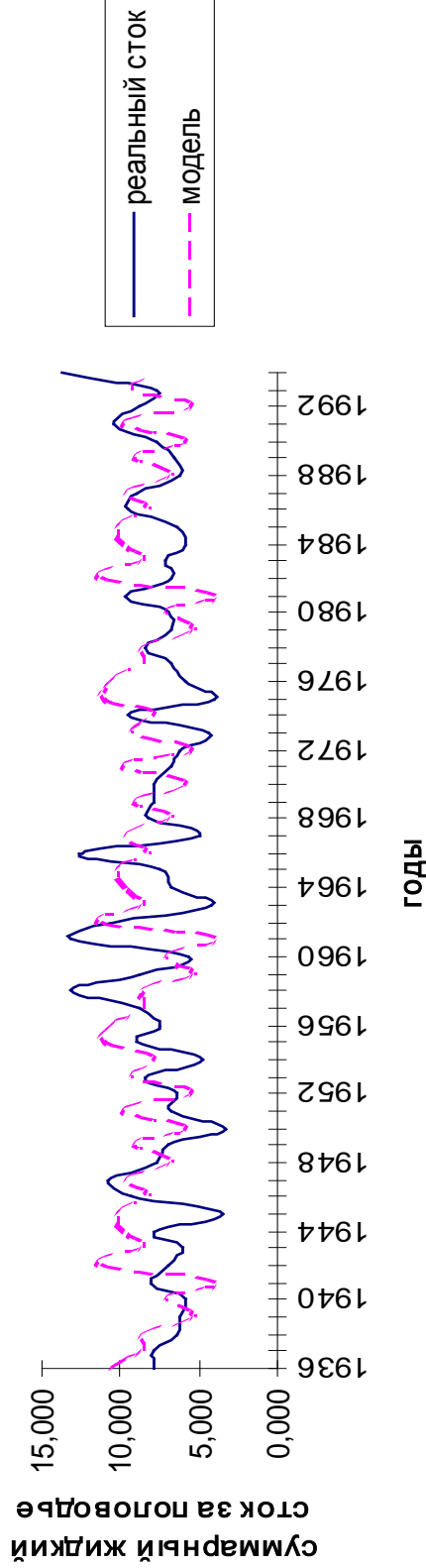
дата	Q
1961	98,619
1962	17,07
1963	61,737
1964	30,53
1965	33,557
1966	22,727
1967	28,785
1968	19,066
1969	29,1815
1970	31,154
1971	32,094
1972	24,952
1973	22,48
1974	28,623
1975	24,457
1976	16,356
1977	11,183
1978	19,441
1979	23,16
1980	23,963
1981	58,635
1982	33,494
1983	21,962
1984	21,563
1985	34,052
1986	18,011
1987	17,337
1988	27,337
1989	35,858
1990	14,543
1991	20,603
1992	41,164
1993	26,242

Приложение 5. Пример моделирования жидкого стока реки с помощью рядов Фурье

Сев. Двина-Усть-Пинега; 18, 10



Сухона-Каликино; 20



Приложение 6. Пример данных Водного реестра РФ о типе использования водных ресурсов

Информация о предоставлении водных объектов в пользование на основании договоров водопользования и решений о предоставлении водных объектов в пользование по зоне деятельности отдела водных ресурсов по Кировской области

№ п/п	Водопользователь		Наименование водного объекта	Цель водопользования	Срок предоставления водного объекта или его части в пользование (до дд.мм.гг.)
	наименование	юридический адрес			
1	2	3	4	5	6
1	ООО "Техстрой"	610048, г. Киров, ул. Производственная, 1Б	Р КАС/ВОЛГА/1804/1/703 (затон р. Вятки)	разведка и добыча полезных ископаемых	30.08.2007 - 30.11.2008
2	ОАО "Кирскабель"	612820, Кировская область, Верхнекамский район, г. Кирс, ул. Ленина, д.1	Р КАС/ВОЛГА/1804/1/1078 (р. Кирса)	сброс сточных вод	08.10.2007 - 31.12.2010

Информация о предоставлении водных объектов в пользование на основании договоров водопользования и решений о предоставлении водных объектов в пользование по зоне деятельности отдела водных ресурсов по Пермскому краю

N п/п	Водопользователь		Наименование водного объекта, его код	Цель водопользования	Срок предоставления водного объекта или его части в пользование
	Наименование	Юридический адрес			
1	2	3	4	5	6
1	ОАО "Соликамскбумпром"	618548, г. Соликамск, ул. Коммунистическая, д. 21	Камское водохранилище на р.Каме, КАС-ВОЛГА-1804	забор воды на производственные нужды	30.06.2017

2	ОАО "Соликамскбумпром"	618548, г. Соликамск, ул. Коммунистическая, д. 21	Камское водохранилище на р.Каме, КАС-ВОЛГА- 1804	сброс сточных вод	31.08.2007 - 29.07.2011
3	ООО "Инвестиционно- строительная компания"	614002, г. Пермь, ул. Чернышевского, 19а	Воткинское водохранилище на р.Каме, КАС-ВОЛГА- 1804	использование акватории водного объекта	23.10.2007 - 30.09.2008

Информация о предоставлении водных объектов в пользование на основании договоров водопользования и решений о предоставлении водных объектов в пользование по зоне деятельности Отдела водных ресурсов по Удмуртской Республике Камского БВУ

N п/п	Водопользователь		Наименование водного объекта, его код	Цель водопользования	Срок предоставления водного объекта или его части в пользование
	Наименование	Юридический адрес			
1	2	3	4	5	6
1	ОАО "Спецгидрострой"	426006, УР, г. Ижевск, ул.Баранова, д.28а	Ижевское вдх. - р.у. 185 км	Проведение дноуглубительных работ	23.11.2007 - 30.12.2008
2	ОАО "Северо- западные магистральные нефтепроводы"	420061, Республика Татарстан, г.Казань, ул.Ершова д.26а	р. Постолка, р.у. - 6.5 км	Забор (изъятие) водных ресурсов	23.11.2007 - 15.11.2008
3	ОАО "Буммаш"	УР, г.Ижевск, Воткинское шоссе, д.170	р. Октябринка, р.у.- 6.0 км	Сброс сточных и дражных вод	29.12.2007 - 01.12.2011
4	ЗАО р МДНП "Красная Звезда"	427792, УР, г.Можга, ул.Горбунова, д.32	р. Сюгаилка (Дубовка) р.у. - 0.025 км	Забор (изъятие) водных ресурсов	31.12.2012 - 31.12.2012

Приложение 7. Гидрографическая схема водохозяйственного района и сети пунктов наблюдений за формированием и использованием речного стока. 1- границы ВХР, 2- границы административного деления, 3- водозаборные каналы, 4 – сбросные каналы и коллекторы, 5 – гидрометрические створы на реках, 6 – расходомерные посты на каналах, 7 – наземная линия связи, 8 – радиосвязь, 9 – осадкомерные посты, 10 – ВЦ.

