Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**»

Утверждаю

Директор ИГНД

\_\_ \_\_А.К. Мазуров

« » 2010 г.

**Основы климатологии и гидрологии**

Методические указания к выполнению курсовой работы

по курсу «Основы климатологии и гидрологии» для студентов III курса, обучающихся по направлению 280400 «Природообустройство»

*Составитель* **М.В. Решетько**

Издательство

Томского политехнического университета

##### 2010

УДК 551.58 + 556(075.8)

ББК 26.237 + 26.31я73

О753

О753 **Основы климатологии и гидрологии**: методические указания к выполнению курсовой работы по курсу «Основы климатологии и гидрологии» для студентов III курса, обучающихся по направ-лению 280400 «Природообустройство». / сост. М.В. Решетько; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 27 с.

**УДК 551.58 + 556(075.8)**

**ББК 26.237 + 26.31я73**

Методические указания рассмотрены и рекомендованы   
к изданию методическим семинаром кафедры   
гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии

« 8 » февраля 2010 г.

Зав. кафедрой ГИГЭ

Доктор геолого-минералогических наук \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ *С.Л.Шварцев*

Председатель учебно-методической

комиссии \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ *Н.М.Шварцева*

*Рецензент*

доктор географических наук, профессор ТПУ

*О.Г. Савичев*

© Решетько М.В., составление, 2010

©Составление. Томский политехнический университет, 2010

© Оформление. Издательство Томского   
политехнического университета, 2010

# ВВЕДЕНИЕ

Учебным планом дисциплины «Основы климатологии и гидрологии» предусмотрена курсовая работа, темой которой является: «Построение и расчленение гидрографа реки по генетическим признакам питания. Определение характеристик поверхностного стока».

Студент обязан выполнить курсовую работу в полном объеме, предусмотренном методическими указаниями, соблюдая сроки выполнения разделов согласно календарному плану (Приложение) оформить в установленные сроки курсовую работу и защитить ее.

# ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью курсовой работы является закрепление теоретических знаний, изучение методики расчленения гидрографа и приобретение практических навыков ведения расчетов по вычислению характеристик поверхностного стока, навыков самостоятельного использования полученных знаний в профессиональной деятельности.

# ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Взаимодействие поверхностных и подземных вод играет очень важную роль в гидрологических процессах на земном шаре. Существо этого взаимодействия заключается в обмене поверхностных (океаны, моря, озера, водохранилища, реки, каналы) и подземных вод (напорных и безнапорных) водой, теплотой, растворенными в воде веществами.

## 1.1. Виды питания рек

Речной сток формируется в результате поступления в реки вод атмосферного происхождения, при этом часть атмосферных осадков стекает с реками в океан или бессточные озера, другая часть - испаряется. Однако при единстве атмосферного происхождения в конечном счете всех речных вод непосредственные пути поступления вод в реки могут быть различными. Выделяют четыре вида питания рек: *дождевое, снеговое, ледниковое* и *подземное.* Атмосферное происхождение вод, участвующих в дождевом, снеговом и ледниковом питании рек, очевидно и не требует пояснения. Подземное же питание рек, как следует из анализа водного баланса суши и изучения режима подземных вод, также формируется, в конечном счете, в основном из вод атмосферного происхождения, но прошедших более сложный путь. Лишь в редких случаях можно говорить об участии в подземном питании рек вод не атмосферного, а «ювенильного» происхождения.

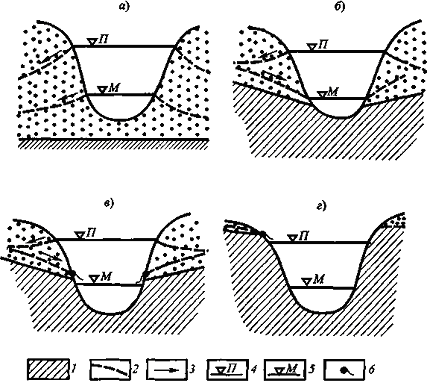
Для рек в условиях теплого климата главный вид питания – дождевое. Сток таких крупнейших рек мира, как Амазонка, Ганг и Брахмапутра, Меконг, формируется в основном за счет дождевых вод. Этот вид питания рек в глобальном масштабе является главнейшим. Вторым по важности служит снеговое питание. Его роль весьма велика в питании рек в условиях умеренного климата. Третье место по объему поступающих в реки вод занимает подземное питание. По водно-балансовым оценкам для всего земного шара на долю подземного питания рек приходится около 30% речного стока. При величине речного стока, поступающего в океан, 41,7 тыс. км3 в год на долю подземного питания приходится, таким образом, 12,5 тыс. км3 воды в год. Именно подземное питание обусловливает постоянство или большую продолжительность стока реки в течение года, что и создает в конечном итоге реку. Важно также отметить, что роль подземного питания в режиме рек особенно возрастает в межень, когда питание других видов (снеговое, дождевое) существенно сокращается или вовсе прекращается. Последнее место по значимости приходится на ледниковое питание (около 1 % стока рек мира).

## 1.2. Типы связи грунтовых вод с рекой

Выделяют три типа взаимодействия речных и грунтовых вод: *наличие постоянной гидравлической связи, наличие временной гидравлической связи и отсутствие гидравлической связи.* Первый тип включает два подтипа: наличие одно- и двусторонней постоянной гидравлической связи. Характер связи речных и грунтовых вод зависит от соотношения высоты стояния уровня в реке в половодье и межень, с одной стороны, и положения кровли водоупорного пласта (водоупора) и уровня находящихся над ним грунтовых вод – с другой.

При очень низком положении водоупора и уровня грунтовых вод река в течение всего года через берега и дно питает подрусловые и прибрежные грунтовые воды (рис. 1.1а – постоянная односторонняя гидравлическая связь – река в течение всего года питает грунтовые воды), т. е. постоянно теряет воду на питание грунтовых вод. Это явление особенно характерно для закарстованных пород или крупнопористых грунтов в аридных и горных районах. Гидрогеологи называют этот вид взаимодействия речных и грунтовых вод «подпертой фильтрацией» [4]. Кроме того, иногда выделяют случай, когда основной водоупор находится очень глубоко, а русло реки подстилают слабоводопроницаемые породы. В этом случае фильтрация речных вод происходит практически вертикально вниз, обходя область слабоводопроницаемых пород («свободная фильтрация» по [4]).

При более высоком положении водоупора (рис. 1.1б – постоянная двусторонняя гидравлическая связь) река питает грунтовые воды лишь в половодье; в межень река, наоборот, дренирует грунтовые воды и ими питается, на спаде половодья и в межень часть накопленной в грунте воды возвращается в русло реки. Такое явление называется береговым регулированием речного стока или периодическим питанием подземных вод[4]. Б.И. Куделин условно называет «*береговым регулированием поверхностного стока*» явление инфильтрации речных вод в берега в восходящей стадии половодья и возврат их в реку при спаде половодья. Общая продолжительность берегового регулирования поверхностного стока занимает время*,* равное приблизительно общему периоду весеннего половодья. Подземное питание рек за счет основных запасов подземных вод бассейна в период высоких уровней сокращается, а для случая полной гидравлической связи грунтовых вод с рекой подземное питание в период половодья можно принять равным нулю.



*Рис. 1.1. Схема взаимодействия речных и грунтовых вод*

*а, б, в, г* – *пояснения см. в тексте;*

*1* – *водоупорный пласт; 2* – *уровень грунтовых вод; 3* – *направление движения грунтовых вод; уровень воды в реке: 4 – в половодье 5* – *в межень; 6* – *родники*

Гидрогеологическая сущность берегового регулирования состоит в том, что поверхностный сток, сформировавшийся за счет речных снеговых вод и атмосферных осадков, уже поступивших склоновым стоком до поверхностного водотока, благодаря взаимодействию с берегами и грунтовыми водами прибрежной зоны временно теряется для поверхностного стока, превращаясь в грунтовые воды (отрицательный подземный сток). Эти воды сохраняются в берегах в период восходящей стадии половодья, вследствие подпора от высоких вод в реке, и после пика половодья опять поступают в реку, снова превращаясь в поверхностный сток, увеличивая сток реки на спаде половодья. Таким образом, в процессе "берегового регулирования" происходит лишь перераспределение поверхностного стока внутри самого весеннего половодья.

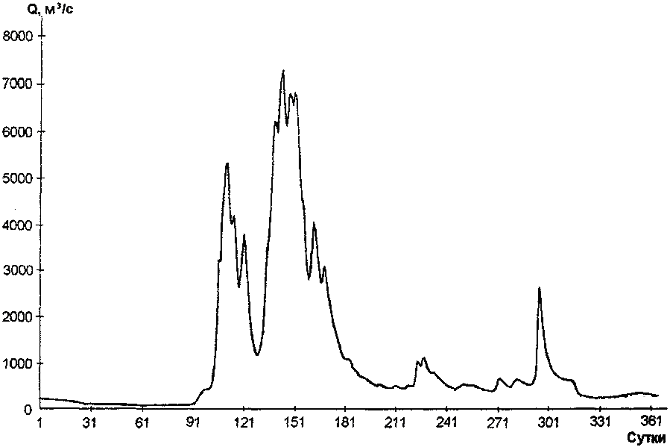
При еще более высоком положении водоупора река, так же как и в предыдущем случае, в половодье питает грунтовые воды, а в межень грунтовые воды питают реку. Однако в межень происходит разрыв кривой депрессии грунтовых вод и понизившегося уровня в реке (см. рис. 1.1в – временная гидравлическая связь) – на склонах русла возникают *мочажины* и начинают действовать *родники* или *ключи*,дебиты которых не зависят от изменения уровня воды в реке.

Наконец, при очень высоком положении водоупора как в половодье, так и в межень грунтовые воды и река не имеют между собой гидравлической связи (рис. 1.1г – отсутствие гидравлической связи).

Таким образом, характер и величина подземного питания рек зависят от гидрогеологического строения прилегающей к водному объекту территории и от режима уровней воды в водном объекте. В большинстве случаев колебания уровня воды следуют за колебаниями стока и ими определяются. Объясняется это существованием закономерных связей расходов и уровней воды в реках.

## 1.3. Понятие о гидрографе

Изменения режима реки характеризуются, прежде всего, колебаниями ее водности. Понятие «водность реки» используется для оценки изменений стока данной реки. *Водность* –это количество воды, переносимое рекой за какой-либо интервал времени (месяц, сезон, год, ряд лет) в сравнении со средней многолетней величиной стока воды этой реки или со стоком в другие периоды. Когда говорят о колебаниях водности рек, то имеют в виду, прежде всего изменения стока воды. При этом график изменения расхода воды (м3/с) в данном створе реки в течение года (или части года) называют *гидрографом реки* (рис 1.2).



*Рис. 1.2. Гидрограф р.Томи у г.Томска за 1970 год*

График изменения уровня воды во времени гидрографом называть нельзя, так как в некоторых случаях колебания уровней воды в реках могут быть не связанны с изменением стока, например при ледовых явлениях на реках, интенсивных процессах размыва дна или аккумуляции наносов, сгонно-нагонных и приливных явлениях в устьях рек.

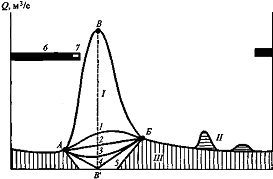
## 1.4. Методы расчленения гидрографа по видам питания

По данным гидрометрических измерений для каждого года можно получить гидрограф — график изменения расхода воды за год *Q* = *f(t),* который отражает сложные процессы водообмена поверхностных и подземных вод. Количественная оценка доли различных видов питания в формировании стока обычно осуществляется с помощью *графического расчленения гидрографа по видам питания.* Этот метод применяется для графического выделения объемов воды, сформированных различными источниками питания. В этом случае доля того или иного вида питания (например, снегового, дождевого, подземного) определяется пропорционально соответствующим площадям на гидрографе (рис. 1.3). В результате расчетов можно получить количественную оценку каждого источника питания за год и, что особенно важно, выделить подземную составляющую общего годового стока.

Наибольшие трудности возникают при выделении подземного питания в период половодья или крупных паводков. В зависимости от характера взаимодействия поверхностных и подземных вод Б.В. Поляковым, Б.И. Куделиным, К.В. Воскресенским, М.И. Львовичем, О.В. Поповым и другими исследователями предложен ряд схем расчленения гидрографа.

Наиболее общие закономерности следующие. При отсутствии гидравлической связи речных и грунтовых вод (рис. 1.1г), что обычно характерно для горных рек; подземное питание в период половодья или паводка в общих чертах повторяет ход гидрографа, но в более сглаженном виде и с некоторым запаздыванием максимума подземного питания по сравнению с максимумом расхода воды (рис. 1.3, линия 1).

При наличии постоянной или временной гидравлической связи речных и грунтовых вод (рис. 1.1, б – в)на подъеме половодья в результате подпора рекой грунтовых вод подземное питание уменьшается и достигает минимума при наивысшем уровне воды в реке (рис. 1.3, линия 3)*.* На практике при недостатке сведений о взаимосвязи речных и грунтовых вод часто для равнинных рек условно принимают величину подземного питания в момент пика половодья, равной нулю (рис. 1.3, линия 4).



*Рис. 1.3. Схема расчленения гидрографа реки по видам питания*

*питание: I* – *снеговое, II* – *дождевое, III* – *подземное;*

*А, Б и В* – *начало, конец и пик половодья; 1*–*5* – *линии, разделяющие снеговое и подземное питание в период половодья при различном характере взаимодействия речных и грунтовых вод (пояснение см. в тексте); 6* – *ледостав; 7* – *ледоход*

При длительном стоянии высоких уровней, что более свойственно крупным рекам, (рис. 1.3, линия 5) происходит фильтрация речных вод в грунт – «отрицательное подземное питание», а на спаде половодья или в начале межени эти воды возвращаются в реку. Водоносные горизонты, гидравлически связанные с рекой имеют иной режим и противоположную направленность фаз стока по сравнению с поверхностными водами. При повышении уровня воды в реке происходит уменьшение гидравлических уклонов и расхода подземного стока в реку, т.е. наблюдается явления подпора. В восходящей стадии весеннего половодья в прибрежной зоне образуются обратные гидравлические уклоны гидравлического потока (рис. 1.2б), и происхо-дит инфильтрация речных вод в берега. При спаде половодья зеркало грунтового потока вновь приобретает наклон к реке и начинается обратный сток в реку инфильтрующейся в берега речной воды. Однако во многих случаях, особенно на малых и средних реках, границу подземного питания на гидрографе проводят просто по прямой линии, соединяющей точки начала и конца половодья (рис. 1.3, линия 2).

Возникают сложности также при разделении дождевого и снегового питания, особенно в весенний и осенний периоды, разделении снегового, ледникового и дождевого питания на горных реках и т. д. В этих случаях для более надежного расчленения гидрографа по видам питания необходимо привлекать данные о дождевых осадках и температуре воздуха.

Рассмотрим некоторые из методик расчленения гидрографа на подземную и поверхностную составляющие:

### 1.4.1. Метод Б.И. Куделина

Расчленение гидрографа по видам питания согласно [5] по методу Б.И. Куделина ведется следующим образом:

Для расчленения гидрографа по видам питания необходимо выбрать на реке два створа нижний и верхний. Определяется площадь бассейна (*F, км2*)*,* длина бассейна от нижнего створа (*L1,км*) и расстояние между створами (*L2,км*)*.* По данным ежедневных расходов нижнего створа строится гидрограф в заданном масштабе.

Для выделения подземного стока реки из общего стока на гидрографе необходимо определить:

1. начало весеннего половодья (НВП) в верхнем и нижнем створе;
2. пик половодья (ПИК) в верхнем (*t1*) и нижнем (*t2*) створах;
3. окончание весеннего половодья (ОВП) в обоих створах;
4. скорость добегания (*Vдоб*)по формуле (1.1).

(1.1)



1. время добегания (T) за которое подземные воды пройдут из верховьев бассейна до нижнего створа по формуле (1.2).

(1.2)



Расчленение гидрографа по видам питания рассмотрим на *примере решения типовой задачи* [по 5].

***Задача***

Произвести расчленение гидрографа общего стока р. Сейма у г. Рыльска методом Куделина по следующим исходным данным:

* данные ежедневных расходов воды за год;
* площадь водосбора *F* = 18090 км2, длина бассейна *L1 =* 346 км;
* расстояние между створами (с. Зуевка и г. Рыльск) *L2* = 274 км.

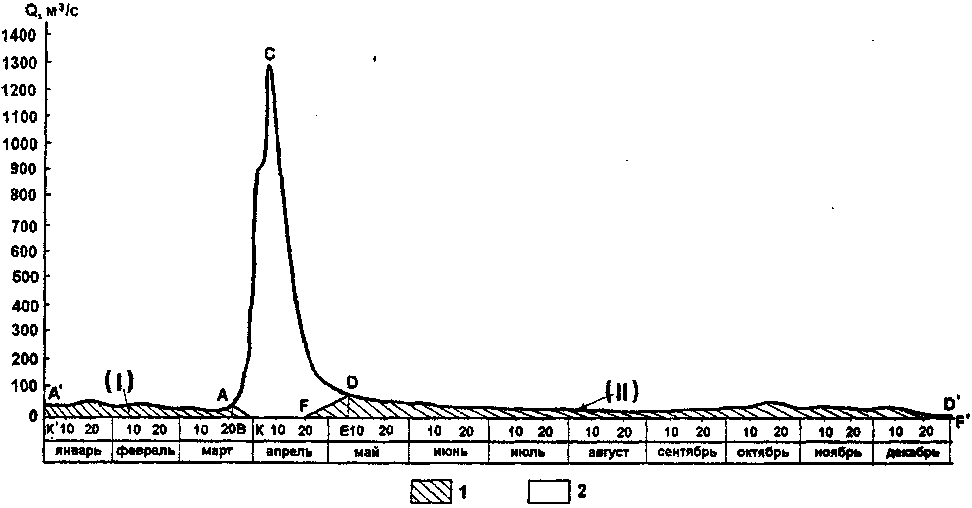
***требуется:***

1. Построить гидрограф р.Сейма у г.Рыльска
2. Определить даты начала и окончания берегового регулирования поверхностного стока;
3. Выделить подземный сток на гидрографе в период половодья
4. Вычислить характеристики поверхностного стока

***Решение***

1. Построенный по данным ежедневных расходов воды гидрограф приведен на рис. 1.4, а даты фаз половодья в верхнем и нижнем створах реки Сейм в таблице 1.1.

Выбранный масштаб: вертикальный – 1см = 100 м3/с, горизонтальный – 1 см = 10 дней = 10 • 24 • 60 • 60 = 864 000 сек



*Рис.1.4. Гидрограф р. Сейма у г. Рыльска*

*1 - подземный сток; 2 - поверхностный сток*

Таблица 1.1

Даты фаз половодьяр. Сейм,

начало (НВП), пик и окончание (ОВП) половодья

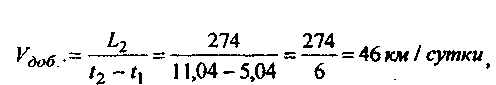
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| створ | НВП | ПИК | ОВП |
| верхний – с. Зуевка | 23.03 | 5.04 | 13.04 |
| нижний – г. Рыльск | 26.03 | 11.04 | 8.05 |

2. Рассмотрим расчленение гидрографа:

Для выделения подземного стока на гидрографе при условии гидравлической связи поверхностных вод с подземными водами (схему взаимодействия см. рис. 1.1б) необходимо использовать следующий порядок вычислений:

2.1. Предположим, что весеннее половодье во всем бассейне начинается одновременно. Его определяют по данным наблюдений верхнего створа с. Зуевка, когда происходит начало быстрого увеличения расхода воды в реке – 23.03 (табл. 1.1), прекращение стока подземных вод в реку из водоносных горизонтов гидравлически связанных с рекой наступает также одновременно. На рис. 1.4. это отмечено линией АВ, соответствующей 23.03. Подземное питание вследствие подпора прекратилось с 23.03, но грунтовые воды, поступившие в русло в верховьях до 23.03 стекают вниз по реке вместе с паводочной волной. Для того чтобы узнать время Т,за которое эти воды дойдут до створа в г. Рыльске, необходимо определить пик половодья в обоих створах, вычислить скорость добегания и Т – время добегания*.* Пик половодья в любом створе определяется по максимальной величине расхода воды в реке и обычно это дата одного дня. Согласно рис 1.4. пик половодья в нижнем створе – г. Рыльск *t2* = 11.04, а в с. Зуевка (табл. 1.1) пик половодья *t1 =* 5.04. Расстояние между указанными створами дано в задании и равно *L2* = 274 км.

Используя формулу (1.1), рассчитываем скорость добегания по датам наступления пика половодья в верхнем и нижнем створах:



Расстояние от верховьев р. Сейма до замыкающего створа у г. Рыльска равно L1 = 346 км. Используя формулу (1.2), определим время Т,за которое подземные (грунтовые) воды пройдут из верховьев до нижнего створа реки:

Т= *L1*/*Vдоб* = 346/46 = 7,5 сут*. ≈* 8 сут.

Т ≈ 8 сут.

Значит, подземные воды из самых отдаленных частей бассейна после начала весеннего половодья будут стекать еще 8 суток. Определим дату, когда эти воды достигнут нижнего створа. Для этого используем дату НВП в с. Зуевка (верхний створ), которая равна 23.03 и прибавим к нему время добегания, равное 8 сут. следовательно:

23.03 + 8 сут. = 31.03

На гидрографе соответственно этой дате отметим точку К. Соединим точки А и К. Снижение расхода подземных вод, проходящих г. Рыльск (нижний створ) транзитом, будут происходить по прямой АК.

2.2. Далее, определим окончание весеннего половодья в нижнем створе у г. Рыльска по гидрографу (рис. 1.4) – это 8.05. Поставим соответственно точку Д на гидрографе. Значит до ОВП нижнего створа – 8.05 происходит «береговое регулирование поверхностного стока» и в этот период полностью отсутствует подземное питание, что на гидрографе отметим вертикальной линией DE.

В верховьях бассейна половодье окончилось 13.04, и с этого момента в верховья речной сети стали поступать воды за счет основных запасов подземных вод в бассейне из водоносных горизонтов, гидравлически связанных с рекой. Эти воды достигнут нижнего расчетного створа, согласно предыдущим расчетам, через 8 суток от даты окончания половодья в верхнем створе (13.04), а в нижнем створе они окажутся:

13.04 + 8сут. = 21.04.

Дату 21.04 отметим на гидрографе точкой F. Итак, начиная с 21.04, с каждым днем в замыкающем створе расход воды будет увеличиваться за счет поступления подземных вод с менее удаленных частей бассейна. Нарастание расхода подземных вод будет происходить по прямой FD. «Береговое регулирование поверхностного стока» по всему бассейну закончится 8.05, и к этому времени закончится сток талых снеговых вод, и река полностью перейдет на подземное питание (рис. 1.4).

Если в период с мая по октябрь будут выпадать дожди, то их на гидрографе следует выделить как объем дождевого стока, в данном примере паводки отсутствовали и вся заштрихованная часть гидрографа (I и II – рис. 1.4) относится к подземному стоку.

Необходимо отметить, что, если при решении задач на расчленение гидрографа отсутствуют даты фаз половодья и по характеру гидрографа период половодья рассчитывается на 1-1,5 месяца, то объем стока талых вод можно выделить следующим приблизительным способом: отметить точку пика половодья и от нее на горизонтальной линии влево и вправо отметить точки *К* и *F* –по десять дней от даты наступления пика половодья [5].

3. После произведенных расчетов на гидрографе, представляющем общий годовой сток (рис. 1.4), выделяются следующие площади и определяется их размер в см2:

1. KACDFK – площадь поверхностного снегового стока;
2. А'АКК'А' (I) и FDD'F'F (II) – площади подземного стока (заштрихованные области)
3. Определение объемов стока ведется следующим образом:

3.1. Объем *общего речного годового стока* *W м3/год* для интервала времени ∆t – год (в году 31,5•106 с) вычисляется по формуле:

*W* *(м3) = Qср* *31,5 106* (1.3)

*W* *(км3) = Qср 31,5 10-3* (1.4)

где в первом случае *W* в м3, во втором – в км3, *Qср*, *м3/с* – средний для данного года расход воды.

* 1. Объем *поверхностного стока* *Wпов м3/год* определяется как

*Wпов =* SKACDFK• F (1.5)

то есть произведение выделенной площади SKACDFK, см2 на F, м3 –площадь 1 см2 в масштабе построения гидрографа.

Например, в рассматриваемом примере вертикальный масштаб – 1см = 100м3/с, горизонтальный – 1 см = 10 дней, следовательно:

F = 100м3/с • 864 000 с = 86 400 000 м3

* 1. Объем *подземного стока* *Wподз,м3/год* можно определить аналогично, по размерам суммы SА'АКК'А' (I) и SFDD'F'F (II) в см2, или вычесть величину поверхностного стока из общего стока за год:

*Wподз* = *W* – *Wпов* (1.6)

Определение *доли подземного стока в общем стоке реки* находится по формуле: Рподз = *Wподз* / *W•* 100% (1.7)

3.4. При наличии паводков на гидрографе выделяется также *Wд* –*дождевое питание* (см. рис. 3), объем которого в м3 можно найти как произведение его площади в см2 на F (аналогично формуле 1.5). В этом случае на гидрографе отдельно определяется *снеговое питание* *Wсн* периода половодья, которое можно также рассчитать:

*Wсн* = *Wпов* –*Wд* (1.8)

### 1.4.2. Метод К.П. Воскресенского

Метод К. П. Воскресенскогорассмотрен в [6] на примере расхода р. Дон у г. Калача и графика колебания уровня грунтовых вод у с. Каменная Степь (рис. 1.5). Площадь водосбора *F =* 220000 км2. Метод основан на следующем. Наблюдения показали, что колебание подземного стока из горизонтов, не связанных с рекой, близко к колебанию поверхностного стока, причем наблюдается запаздывание фазы максимального уровня подземного стока по сравнению с поверхностным за счет разности во времени добегания. Подземный сток в реку пропорционален запасам подземных вод в бассейне. В период весеннего половодья и дождевых паводков подземный сток постепенно увеличивается, достигая максимума в момент окончания половодья и дождевого паводка. В данном примере максимум подземного стока соответствует дате максимума уровня подземных вод (на рис. 1.5 точка *а'* – 8 июня). Дата 8 июня на гидрографе в точке *а'* совпадает с датой окончания спада. Считая, что увеличение подземного стока в период снегового половодья происходит постепенно, пропорционально инфильтрационной способности почвы и продолжительности снеготаяния, линия среза на гидрографе проводится по прямой от точки *с,* соответствующей предпаводочному расходу 25 марта, к точке *а'.*



*Рис. 1.5. Схема выделения поверхностного стока на гидрографе*

*А – гидрограф Q = f(t) р. Дон (г. Калач);*

*В – колебания уровня грунтовых вод Q = H(t) с. Каменная степь*

Общий объем годового стока определяется планиметрированием всей площади гидрографа. Заданные объемы стока, выделенные на гидрографе, определяются планиметрированием (данные не приводятся) соответствующих частей гидрографа:

а) объем годового поверхностного стока *W* = 21 435 • 106 м3;

б) объем поверхностного стока *Wпов* = 15 000 • 106 м3;

в) объем подземного стока (считая, что дождевые паводки отсутствуют) вычисляется по заштрихованной площади гидрографа:

*Wподз* = *W – Wпов* = 21435•106 *–* 15 000•106 = 6435•106 м3.

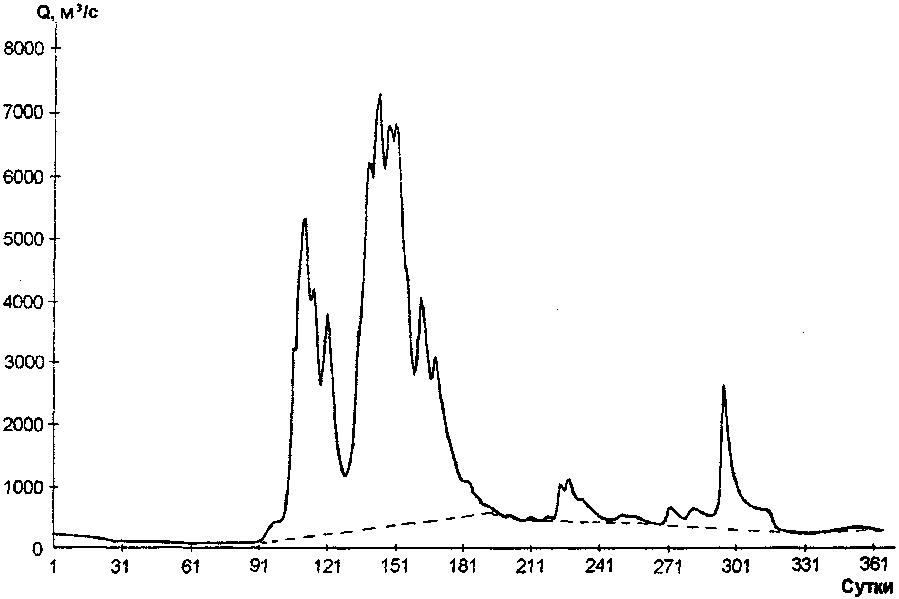
Подземный сток составляет примерно 30 % общего годового стока.

### 1.4.3. Некоторые другие методы

*Расчленение гидрографа на подземную и поверхностную составляющие* Для выделения подземной составляющей на графике проводится 2 ломаные по точкам, соответствующим минимальным расходам воды в зимний и летне-осенний периоды года (участок, соответствующий весеннему половодью, не заполняется). Последующие действия зависят от принятой схемы взаимодействия подземных и речных вод. При этом следует помнить, что для средних и крупных рек, как правило, характерна весьма сложная связь. В этом случае возможно применение следующей [7] методики, основанной на методе Б.И. Куделина:

а) участки ломаных, соответствующие окончанию зимней межени и весеннего половодья продлеваются на величину времени добегания от истоков до замыкающего створа с учетом масштаба. Граничные точки соединяются отрезком (рис. 1.6);

б) на графике выделяется несколько трапеций, соответствующих проведенной ломаной, после чего определяется площадь отдельных трапеций *Si* и суммарная площадь *Sобщ* в см2 (мм2) и переводится в масштаб гидрографа (см. формулу 1.5 раздела 1.4.1).



*Рис.1.6. Гидрограф р.Томи у г.Томска за 1970 г.*

*- - - - подземный сток, м3/с*

Кроме того, величина подземного стока может определяться как сумма среднемесячных значений подземного водного стока *Qподз* которые с декабря по март принимаются равными среднемесячному водному стоку рек, а в прочие месяцы - вычисляются линейной интерполяцией по формуле:

(1.9)



где *Омарт* *Qдекабрь* –среднемесячные значения водного стока рек в марте и декабре, соответственно; *i* – номер рассматриваемого календарного месяца [8].

Существуют также метод В.В. Дрозда, который основан на определении подземной составляющей по гидрохимическим данным; метод П.П. Воронкова, который учитывает химический состав вод и применяется для малых водосборов при береговом регулировании и условии полной гидравлической связи подземных и русловых вод.

П.П. Воронков выделяет следующие генетические категории вод:

* поверхностно-склоновые, стекающие в русловую сеть по поверхности почвенного слоя
* почвенно-поверхностные, стекающие по первичной русловой сети, формирующие свой состав на поверхности и частично внутри верхнего почвенного слоя
* грунтовые, формирующие свой химический состав в процессе инфильтрации дождевых и талых вод

Более подробно с данными методами можно ознакомиться в [6].

## 1.5. Классификация рек по видам питания и водному режиму

У каждой реки доля отдельных видов питания может быть различной. Определение в каждом конкретном случае вклада различных видов питания в речной сток – задача исключительно сложная. Наиболее точно ее можно решить либо с применением «меченых атомов», т. е. путем радиоактивной «маркировки» вод различного происхождения, либо путем анализа изотопного состава природных вод. Более простой, но приближенный способ выделения различных видов питания – это графическое расчленение гидрографа.

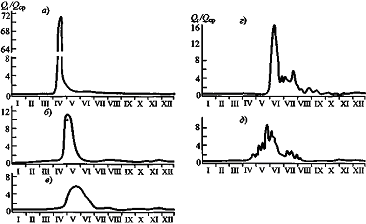
Известный русский климатолог А.И. Воейков был первым, предложившим классификацию рек земного шара по видам питания. Классификация Воейкова одновременно была и районированием земного шара по характеру питания рек. Были выделены области, где реки получают питание преимущественно от таяния сезонного снега и ледников; области, где реки получают воду преимущественно от дождей; области, где постоянных водотоков нет.

В настоящее время более распространена классификация рек по источникам, или видам питания, М.И. Львовича. В ее основу положено два признака – источники питания и сезонное распределение стока. Для определения степени преобладания того или иного вида питания приняты три градации. Если один из видов питания дает более 80 % годового стока реки, следует говорить об исключительном значении данного вида питания, и ему придается наименование «почти исключительно» (другие виды питания не учитываются). Если на долю данного вида питания приходится от 50 до 80 % стока, то этому виду питания придается наименование «преимущественно» (другие виды питания учитываются лишь, если на их долю приходится больше 10 % годового стока). Если же ни один из видов питания не дает больше 50 *%* годового стока, то такое питание называют смешанным. Указанные диапазоны градаций (80 и 50 %) относятся ко всем видам питания, кроме ледникового. Для ледникового питания соответствующие диапазоны градаций уменьшены до 50 и 25 %. Такие же градации приняты для характеристики сезонов года, преобладающих по относительным размерам стока в сравнении с годовым.

Большая часть рек на территории бывшего СССР имеет преобладающее снеговое питание. Почти исключительно снеговое питание имеют реки Северного Казахстана и Заволжья. Реки дождевого питания занимают южную часть территории к востоку от Байкала, а также бассейны Яны и Индигирки, Черноморское побережье Кавказа и Крыма, Северный Кавказ. Ледниковое питание имеют реки на Кавказе и в Средней Азии.

Вопросами классификации рек по водному режиму занимались многие исследователи. Широко распространена довольно простая классификация рек по водному режиму Б.Д. Зайкова. В этой классификации все реки бывшего СССР (исключая искусственно или естественно сильно зарегулированные) разделены на три большие группы: с весенним половодьем, с половодьем в теплую часть года и с паводочным режимом. У рек первой и второй групп ежегодно наблюдаются повышенные расходы воды, приуроченные, соответственно, к весне или к теплой части года. В остальную часть года наблюдаются межень и отдельные паводки. У рек третьей группы отмечаются паводки, носящие систематический характер.

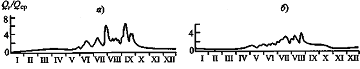
*Реки с весенним половодьем,* обусловленным таянием снежного покрова, наиболее распространены на территории бывшего СССР. Реки этой группы подразделены Зайковым на пять типов. У рек казахстанского типа (рис. 1.7а)наблюдается исключительно резкая и высокая волна половодья, а в остальную часть года сток бывает очень мал, вплоть до полного пересыхания рек. Реки восточноевропейского типа (рис. 1.7 б) характеризуются высоким весенним половодьем, низкой летней и зимней меженью, несколько повышенным стоком осенью. Реки западносибирского типа (рис. 1.7 в)имеют невысокое растянутое весеннее половодье и повышенный летне-осенний сток. У рек восточносибирского типа (рис. 1.7 г) наблюдаются высокое половодье, летне-осенние паводки и низкая зимняя межень. Для рек алтайского типа (рис. 1.7 д) характерны невысокое растянутое весеннее половодье, повышенный летний сток и низкая зимняя межень.



*Рис. 1.7. Гидрографы рек с весенним половодьем*

*типы а* – *казахстанский, б* – *восточноевропейский, в* – *западносибирский, г* – *восточносибирский, д* – *алтайский. Изменения расходов воды в течение года даны относительно его среднего годового значения.*

*Реки с половодьем в теплую часть года* встречаются на Дальнем Востоке и в высокогорных областях Средней Азии и Кавказа. Реки этой группы подразделяются на два типа. Для рек дальневосточного типа (рис. 1.8 а) характерны невысокое, растянутое, имеющее гребенчатый вид летнее дождевое половодье и низкий сток в холодную часть года.

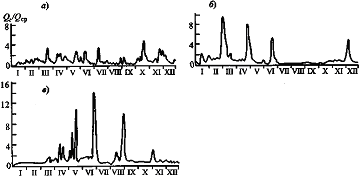


*Рис. 1.8. Гидрографы рек с половодьем в теплую часть года*

*типы а* – *дальневосточный, б* – *тянь-шанский (I-XII-месяцы)*

Реки тянь-шанского типа (рис. 1.8 б) также имеют летнее половодье (только в этом случае оно обусловлено таянием ледников и высокогорных снегов); зимний сток выше, чем у рек предыдущего типа.

*Реки с паводочным режимом* протекают в горных и предгорных районах Крыма, Кавказа, Карпат. Питание у рек этой группы в основном дождевое. Среди этих рек выделяют три типа. Реки причерноморского типа (рис. 1.9 а) имеют дождевые паводки в течение всего года. У рек крымского типа (рис. 1.9 б) отмечаются зимние паводки и длительные летний (июнь – август) или летне-осенний (май – октябрь) периоды с очень низким стоком (вплоть до полного пересыхания). Для рек северокавказского типа (рис. 1.9 в) характерны паводки в теплую и низкая межень в холодную части года.



*Рис 1.9. Гидрографы рек с паводочным режимом*

*типы а* – *причерноморский, б* – *крымский, в* – *северокавказский (I-XII - месяцы)*

П.С. Кузин предложил свою классификацию рек с учетом характера их питания и водного режима. Все реки им подразделены на три типа: с половодьем (снеговое питание), с половодьем и паводками (снеговое и дождевое питание), с паводками (дождевое питание). Заметим, что, по П.С. Кузину, половодье может быть лишь снегового происхождения. Летние половодья рек муссонного климата, вызванные ливневыми дождями отнесены к категории паводков. Внутри упомянутых трех типов выделены еще 14 подтипов [1]. Дополнительно выделен четвертый (азональный) тип – реки с преобладанием подземного питания, характеризующиеся равномерным режимом стока в течение года.

## 1.6. Основные количественные характеристики речного стока

Рассмотрим теперь основные количественные характеристики самого стока воды, применяемые в гидрологии: расход воды, объем стока, слой стока, модуль стока, коэффициент стока.

Главнейшая характеристика стока воды реки – это ***расход воды****,* т.е. *объем воды, протекающей через поперечное сечение потока в единицу времени* (*Q,* м3/с). Измерениями определяют лишь средний расход воды в данном гидрометрическом створе за время измерения (на больших реках это может быть интервал времени, измеряемый часами). Процесс измерения расходов воды на реках довольно трудоемок, и поэтому число измерений в течение года обычно ограничено. Для расчета средних суточных величин расхода воды в практической гидрологии обычно используют графики связи уровней, измерение которых трудностей не представляет, и эпизодически измеренных расходов воды. По таким графикам (их называют «кривыми расходов» или графиками *Q = f(H))* расходы воды могут быть определены по данным об уровнях для любого дня вне зависимости от того, измерялся в этот день сам расход воды или нет. По полученным таким образом средним суточным расходам воды можно построить гидрограф.

К числу *характерных расходов воды* относят расходы различных фаз водного и ледового режима реки, например максимальные (пиковые) расходы воды половодья и паводков, минимальные расходы воды межени, расходы воды в начале весеннего ледохода и т.д.

Расходы воды реки подвержены непрерывным изменениям. В гидрологии рек существуют два основных подхода при анализе их изменений. При первом – *генетическом* – анализируют причины изменения стока, выявляют связь колебаний стока с определяющими, в основном климатическими факторами. При втором – *вероятностном* – оценивают вероятность наступления на данной реке тех или иных расходов воды: чем больше отличается расход воды реки в данный момент в большую или меньшую сторону от некоторой средней величины («нормы»), тем меньше вероятность такого явления. В гидрологии разработана целая система специальных методов статистической и вероятностной оценки колебаний речного стока при наличии, недостатке и отсутствии данных наблюдений. Такие расчеты оказываются необходимыми при проектировании и строительстве различных гидротехнических сооружений на реках.

В гидрологии широко используют понятие *среднего расхода воды за какой-либо интервал времени ∆t* (декаду, месяц, сезон, год, ряд лет). Такие расходы воды рассчитывают по формулам вида

**,** (1.10)



где *Qi -* средние суточные расходы воды; n - число суток в рассматриваемом интервале времени. Так, например, средний годовой расход воды в обычный (невисокосный) год определяют путем суммирования всех средних суточных расходов воды за год и деления суммы на 365.

***Объем стока воды***–это объем воды, прошедшей через данное поперечное сечение речного потока за какой-либо интервал времени. Расход воды поэтому можно считать объемом стока воды за 1 с. Также можно сказать, что *объем стока это количество воды (в м3), стекающее с площади бассейна за год (или часть года)*. Объем стока воды рассчитывают по формуле:

(1.11)



где *W* – объем стока, м3; – средний расход воды за интервал времени *∆t* *(Q* в м3/с, *∆t* в с). Для больших рек *W* часто удобнее выразить в км3 (особенно если речь идет о годовых величинах). В этих условиях применяют формулу



*W* *(км3) =*  *∆t 10-9*  (1.12)



В тех случаях, когда интервал времени *∆t* – год (в году 31,5•106 с), вместо формул (1.11) и (1.12) записывают

*W* *(м3) =*  *31,5 106* (1.13)



*W* *(км3) =*  *31,5 10-3* (1.14)



где в первом случае *W* в м3, во втором – в км3.

Заметим, что принятое количество секунд в году (31,5 106) вполне достаточная с точки зрения точности величина для многих гидрологических вычислений.

***Слой стока***образуется, если весь объем стока распределить равномерным слоем по всей площади бассейна, следовательно, слой стока–это *количество воды, стекающее с водосбора за какой-либо интервал времени, равное толщине слоя, равномерно распределенного по площади водосбора и выраженного в миллиметрах*:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *у =* | *W* *(м3) 10 -3* | *=* | *W* *(км3) 10 6* | (1.15) |
| *F* | *F* |

здесь *у* в мм, *F* в км2.

Слой стока применяют в гидрологических расчетах в уравнении водного баланса для какого-либо речного бассейна, в которое входят параметры, отражающие величины выпавших осадков, испарения и стока, выраженные в миллиметрах слоя, как выпавшее, испарившееся и стекшее количество воды для данной площади.

***Модуль стока воды*** –это *количество воды (в литрах), стекающее в секунду с квадратного километра площади бассейна* (водосбора). Модуль стока воды обозначают через *М,* л/(с•км2), и рассчитывают по формуле:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *М =* | *Q 103* |  | (1.16) |
| *F* |  |

где *Q* –любой расход воды (как мгновенный, например максимальный, так и средний за интервал времени *∆t*)

Сравнивая формулы (1.12), (1.15) и (1.16), легко получить соотношение между модулем и слоем стока:

*у =* *М* *∆t* *10 -6* (1.17)

где *у* и *М* – слой и модуль стока за любой интервал времени *∆t.* Если *∆t* - год, то получим:

*у = 31,5* *М*  (1.18)

***Коэффициент стока*** –отношение величины (объема или слоя) стока к количеству выпавших на площадь водосбора атмосферных осадков, обусловивших возникновение этого стока:

*η = y/x = Y/X* (1.19)

Здесь *у* и *х* в мм, *Y* и *X* в м3 или км3. Коэффициент стока обычно рассчитывают для средних многолетних величин слоя стока и слоя осадков, либо для гидрологического года. Иногда рассчитывают коэффициент стока и за половодье; в этом случае слой стока за половодье делят на слой воды, складывающийся из атмосферных осадков на период половодья и запасов воды в снежном покрове, накопившемся за предшествующую зиму. Напомним, что коэффициент стока – величина безразмерная, изменяющаяся от 0 до 1.

***Модульный коэффициент*** *К* может быть получен из отношений:

*Ki = Qi/Q0 = Mi/M0 = Wi/W0 = yi/y0* (1.20)

где соответственно *Qi*, *Mi*, *Wi*, *yi* – сток за какой-либо период, *Q0*, *M0*, *W0*, *y0* – сток за многолетний период, или норма стока. В маловодные годы *К* < 1, в многоводные *К* > 1.

Характеристики стока могут быть рассчитаны отдельно для подземной и поверхностной составляющих, например модуль поверхностного стока и модуль подземного стока.

Приведем ***пример расчета*** *характеристик стока воды*. Средний многолетний расход воды (норма стока) р. Волги у села Верхнее Лебяжье составил 10650 м3/с. Среднегодовой расход за 2002 год – 7780м3/с. Площадь бассейна Волги 1 360 000 км2, осадки на поверхность бассейна – 660 мм.

По (ф.1.14) рассчитываем объем стока за 2002 г.: *W2002 =* 245 км3 в год.

Средние годовые величины слоя стока и модуля стока определим по формулам (1.15), (1.16): они составят соответственно 180 мм и 5,7л/(с•км2). Коэффициент стока (формула 1.19), равен 0,27.

Модульный коэффициент (формула 1.20): *K2002 =* 7780/10650 ≈ 0,7; следовательно 2002 год был годом малой водности.

# ХОД РАБОТЫ

## 2.1. Задание к работе

1. Ознакомиться с теоретической частью курсовой работы
2. Сделать согласно варианту выкопировку таблицы среднесуточных расходов воды и схемы расположения гидрометрического створа из Гидрологического ежегодника рек бассейна Карского моря
3. Описать физико-географические и гидрогеологические условия бассейна реки в выбранном створе
4. Построить гидрограф годового стока реки
5. Выполнить расчленение гидрографа на подземную и поверхностную составляющие
6. Определить объемы годового стока, поверхностных дождевого и снегового стока и объема грунтового стока
7. Определить тип реки по видам питания и водному режиму
8. Вычислить характеристики речного стока
9. Оформить отчет по курсовой работе с помощью стандартных средств Microsoft Office и доработать при необходимости
10. Защитить курсовую работу в установленный срок

## 2.2. Пояснения к выполнению работы

1. Отчет по курсовой работе должен представлять собой распечатанную твердую копию только в формате А4 с учетом следующих параметров оформления: поля страницы: верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм, левое – 30 мм, правое – 15 мм. Текст должен быть набран в текстовом редакторе Word для Windows, шрифт Times New Roman размер 12 pt, интервал междустрочный – полуторный. Отступ абзаца – 10 мм, одинаковый по всему тексту. Нумерация страниц оформляется внизу – по центру.
2. Данные, скопированные из Гидрологического ежегодника должны содержать следующее: таблицы ежедневных расходов воды для выданного согласно варианту нижнего створа и выбранного самостоятельно верхнего створа, схему расположения верхнего и нижнего створа на реке, расстояние между створами, расстояние от нижнего створа до верховьев бассейна.
3. Построение гидрографа годового стока реки можно выполнять вручную или используя компьютер, например, с помощью электронных таблиц EXCEL (возможно использование других программ, например AutoCad, где возможности программы позволяют определять размеры выделенных площадей). При построении гидрографа по оси ординат необходимо откладывать значения среднесуточного расхода воды согласно варианту, по оси абсцисс – время в сутках, отмечая границы месяцев для более удобного определения дат половодья.

3.1. Построение гидрографа вручную ведется на листе миллиметровой бумаги (размер 60х40 см). Определение масштаба предшествует остальным работам. Вертикальный масштаб выбирается в зависимости от амплитуды колебаний и величины расхода воды, например:

Длина вертикальной оси (*Q*) на графике 45 см, максимальный расход воды *Q* составляет 900 м3/с. Тогда масштаб вертикальной оси *Мв* определяется как:

*Мв = 900/45 = 20 м3/с,*

т.е. в 1 см – 20 м3/с.

Масштаб по оси абсцисс 1мм – 1 сутки – итого 365 мм.

3.2. При использовании компьютера создается твердая копия графика формата А2, затем определяется его масштаб (если позволяют возможности программы, масштаб может определяться перед построением) по пропорциям между размерами рисунка и фактическими величинами, например:

Длина вертикальной оси (*Q*) на графике 30 см, максимальный расход воды *Q* составляет 3000 м3/с. Тогда масштаб вертикальной оси *Мв* определяется как:

*Мв = 3000/30 = 100 м3/с*

т.е. в 1 см – 100 м3/с.

Аналогично определяется масштаб оси времени (в сутках).

1. Расчленение гидрографа (пример в пункте 1.4 теоретической части) на подземную и поверхностную составляющие необходимо произвести двумя способами:

а) предположив высокое стояние воды на крупной реке при постоянной гидравлической связи поверхностных и подземных вод методом Б.И. Куделина (п. 1.4.1.);

б) предположив наличие подземного питания во время половодья (п. 1.4.3. формула 1.9).

1. Определение типа реки по видам питания и водному режиму необходимо производить, используя классификации Б.Д. Зайкова, М.И. Львовича и П.С. Кузина согласно пункту 1.5 теоретической части;
2. Вычисление характеристик поверхностного речного стока выполняется согласно пункту 1.6 теоретической части.

## 2.3. Контрольные вопросы

1. Что такое гидрограф?
2. Перечислите типы и поясните взаимодействие речных и грунтовых вод в зависимости от гидрогеологического строения прилегающей к водному объекту территории
3. Как выполняется расчленение гидрографа на подземную и поверхностную составляющие
4. Поясните возможные схемы расчленения гидрографа
5. Опишите классификации рек по видам питания и водному режиму Б.Д. Зайкова, М.И. Львовича и П.С. Кузина
6. Дайте определение основным количественным характеристикам речного стока

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрология: учебник для вузов / Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. – 2-е, 3-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2007, 2008. – 463 с.
2. Гидрология и геоэкология рек Томской области: учебное пособие / Савичев О.Г., Паромов В.В., Решетько М.В. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 106 с.
3. Рассказов Н.М., Шварцева Н.М. Учение о гидросфере: Учебное пособие. – Томск, Изд-во ТПУ, 2005г. – 105 с.
4. Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 351с.
5. Лучшева А.А., Чаповской А.Е. Сборник задач и руководство к практическим занятиям по основам гидравлики и гидрометрии. – М.: Недра, 1990. – 171 с.
6. Гавич И.К., Лучшева А.А., Семенова-Ерофеева С.М. Сборник задач по общей гидрогеологии: Учеб. пособие для вузов – М.: Недра, 1985. – 412 с.
7. Основы гидрологии. Методические указания и варианты задач для выполнения лабораторной работы по теме: «Построение и расчленение гидрографа. Определение характеристик поверхностного стока» для студентов специальностей 280302 и 130302 / Составители Н.М. Шварцева, О.Г. Савичев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 44 с.
8. Савичев О.Г. Реки Томской области: состояние, использование и охрана. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 202 с.

# Приложение

*Календарный план*

*Выполнения курсовой работы по дисциплине Основы климатологии и гидрологии*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | недели | Наименование разделов курсовой работы | Процент выполнения |
| 1 | 4 | Изучение теоретической части для выполнения курсовой работы (типы связи грунтовых вод с рекой, понятие о гидрографе, методы расчленения гидрографа) | 15 |
| 2 | 5 | Получение и обработка данных. Построение гидрографа годового стока реки. | 25 |
| 3 | 6 | Расчленение гидрографа на подземную и поверхностную составляющие | 35 |
| 4 | 7 | Определение объемов годового стока, поверхностных дождевого и снегового стока и объема грунтового стока | 45 |
| 5 | 8 | Определение типа реки по классификации Б.Д.Зайкова, М.И. Львовича и П.С. Кузина | 55 |
| 6 | 9 | Вычисление характеристик поверхностного речного стока | 70 |
| 7 | 10 | Оформление курсовой работы с помощью стандартных средств Microsoft Office | 90 |
| 8 | 11-12 | Проверка отчета по курсовой работе преподавателем и, при необходимости, доработка отчета студентом | 90 |
| 9 | 13-14 | Защита курсовой работы | 100 |

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

ЦЕЛЬ РАБОТЫ 3

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ 3

1.1. Виды питания рек 3

1.2. Типы связи грунтовых вод с рекой 4

1.3. Понятие о гидрографе 6

1.4. Методы расчленения гидрографа по видам питания 7

1.4.1. Метод Б.И. Куделина 9

1.4.2. Метод К.П. Воскресенского 13

1.4.3. Некоторые другие методы 15

1.5. Классификация рек по видам питания и водному режиму 16

1.6. Основные количественные характеристики речного стока 19

2. ХОД РАБОТЫ 23

2.1. Задание к работе 23

2.2. Пояснения к выполнению работы 23

2.3. Контрольные вопросы 25

Приложение 26

Учебное издание

ОСНОВЫ КЛИМАТОЛОГИИ И ГИДРОЛОГИИ

Методические указания к выполнению курсовой работы

по курсу «Основы климатологии и гидрологии» для студентов III курса, обучающихся по направлению 280400 «Природообустройство»

*Составитель*

Решетько Маргарита Викторовна

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии

с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 00. 00.2010. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».

Печать Xerox. Усл. печ. л. 000. Уч.-изд. л. 000.

Заказ . Тираж 50 экз.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Томский политехнический университет  Система менеджмента качества  Томского политехнического университета сертифицирована  NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008 |  |
| . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.  Тел/факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru | | |