

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н. И. Вавилова»

ГИДРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ И МЕТЕОРОЛОГИЯ

краткий курс лекций

для студентов II курса

Направление подготовки
20.03.02. «Природообустройство и водопользование»

Саратов 2016

УДК [551.5+556] (075.8)
ББК 26.22я73+26.23я73
Б81

Рецензенты:

кандидат с.-х наук, доцент,
зав. лабораторией агрометеорологии ГНУ НИИСХ Юго-Востока Россельхозакадемии
Н. Г. Левицкая

к. с.-х. н., доцент кафедры «Природообустройство и водопользование»
ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ»
А. Н. Никишианов

Гидрология, климатология и метеорология: краткий курс лекций для
студентов II курса специальности (направления подготовки) 20.03.02.
«Природообустройство и водопользование» / Сост.: Ю. В. Бондаренко // ФГБОУ
ВО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2016. - 108 с.

Краткий курс лекций по дисциплине «Гидрология, климатология и метеорология» составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначен для студентов направления подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование». Краткий курс лекций содержит основные теоретические сведения о гидрологии, метеорологии и климатологии. Рассмотрены гидрологические и метеорологические закономерности и характеристики, методы и приборы, используемые в данных науках. Освещаются закономерности формирования поверхностного стока с речных водосборов и методы определения расчетных гидрологических характеристик при разном объеме гидрометрической информации. Представлены основные этапы выполнения гидрометеорологических расчетов при проектировании объектов водохозяйственного строительства в соответствии с современными требованиями инженерно-гидрометеорологической нормативной документации.

Направлен на формирование у студентов профессиональной компетенции: «Способность проводить изыскания по оценке состояния природных и природно-техногенных объектов природообустройства и водопользования» (ПК-10).

УДК [551.5+556] (075.8)
ББК 26.22я73+26.23я73
Б81

© Бондаренко Ю. В., 2016
© ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2016

ВВЕДЕНИЕ

Гидрология, климатология и метеорология принадлежат к циклу наук о Земле. Климатология - наука, изучающая вопросы климатообразования, описания и классификации климатов на основе многолетнего режима погоды, обусловленного географическим положением местности и совокупности воздействия метеорологических величин. Метеорология изучает атмосферу и происходящие в ней физические процессы. Метеорологические наблюдения производят с целью получения сведений о погодных условиях в интересующий момент времени в заданном районе, их использования для прогнозов погоды различной заблаговременности, а также изучения климата, его колебаний и возможных изменений. Гидрология изучает гидросферу, её свойства и протекающие в ней процессы и явления во взаимодействии с атмосферой, литосферой и биосферой.

По определению перечисленные дисциплины решают свои, сугубо частные, вопросы в общем комплексе наук о Земле. Но вместе с тем, они настолько взаимосвязаны, настолько взаимно обуславливают друг друга, что без знания основных положений и закономерностей одной из них трудно рассчитывать на успех в изучении двух других. Инженерная гидрометеорология представляет собой объединенную дисциплину, занимающуюся разработкой методов и способов получения расчетных гидрометеорологических характеристик, наиболее важных для проектирования.

ЛЕКЦИЯ 1

ПРЕДМЕТ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ КУРСА «КЛИМАТОЛОГИЯ И МЕТЕОРОЛОГИЯ»

1. 1. Предмет и задачи курса «Климатология и метеорология»

Наука, изучающая закономерности формирования климатов в различных географических районах и климатический режим различных стран и регионов называется климатологией.

Метеорологией называется наука о земной атмосфере и физических процессах, происходящих в атмосфере.

Атмосфера – это воздушная оболочка Земли, состоящая из смеси газов, составляющих воздух.

Физическое состояние атмосферы в данный момент времени, в данном месте называется погодой. Величины, характеризующие физическое состояние атмосферы, называются метеорологическими элементами. К ним относятся: температура, влажность и давление воздуха, направление и скорость ветра, облачность, количество и интенсивность осадков, различные метеорологические явления (туманы, осадки, облака, грозы, шквалы, заморозки, метели, гололед и т.д.).

Основная задача метеорологии – изучение атмосферных явлений путем накопления данных об их изменениях в пространстве и времени.

Промежуточные задачи метеорологии сводятся к следующему:

- 1) получение точных данных, характеризующих атмосферные процессы и явления;
- 2) объяснение атмосферных процессов и явлений, т.е. установление законов, управляющих их развитием;
- 3) использование найденных закономерностей для разработки методов прогнозирования атмосферных процессов;
- 4) применение найденных закономерностей развития атмосферных процессов для активной борьбы с опасными метеорологическими явлениями и более полного использования сил природы в практической деятельности человека.

Средний многолетний режим погоды на данной территории называется климатом. Для его характеристики используются средние многолетние данные о температуре, осадках, влажности воздуха и почвы, повторяемости и вероятности тех или иных явлений и т. д.

Для получения оперативной гидрометеорологической информации в каждой стране существует государственная сеть метеорологических станций, ведущих наблюдения по возможности однотипными приборами, по единой методике, в определенные часы суток.

В России руководство системой наблюдений осуществляет Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

В настоящее время наземная подсистема получения информации в России включает более 3000 метеорологических станций и обсерваторий, ведущих круглосуточные наблюдения (8 раз в сутки) по обширным программам и около 8000 постов, ведущих наблюдения по сокращенным программам. В труднодоступных районах установлено более 350 автоматических радиометеорологических станций. На акватории морей и океанов наблюдения ведутся на специальных судах и судах торгового и рыболовного флота.

Космическая подсистема «Метеор» включает 2-3 спутника, обращающихся по круговым орбитам на высоте 900 км и наземные пункты приема информации. Количество информации, поступающей со спутников огромно: за сутки 2 спутника передают такой объем информации, какой поступает за полгода со всех наземных станций мира.

Первичная метеорологическая информация передается в территориальные, региональные и мировые центры данных, где она обрабатывается и в соответствующем виде передается различным потребителям.

Россия является членом Всемирной метеорологической организации (ВМО). В рамках этой организации организована Всемирная служба погоды (ВСП). В систему ВСП входят три мировых центра (Москва, Вашингтон, Мельбурн) и 25 региональных центров.

ВМО приняты и разрабатываются ряд крупнейших научных программ по исследованию глобальных атмосферных процессов, по глобальному потеплению климата и т.д., которые выполняются многими странами с привлечением большого числа ученых и с использованием огромного количества технических средств по сбору и обработке информации.

1. 2. Состав и строение атмосферы

В составе атмосферного воздуха преобладают азот (78%) и кислород (21%). 0,93% занимает аргон, 0,03% занимает CO_2 и менее 1% приходится на неон, ксенон, криптон, гелий, водород и др. газы.

Помимо постоянных газов в воздухе всегда содержится водяной пар и различные примеси – газы и аэрозоли.

С высотой в составе атмосферного воздуха начинают преобладать легкие газы – гелий и атомарный водород. Из наблюдений с помощью спутников и ракет установлено, что атмосфера простирается, при все убывающей плотности, до высоты более 20 тысяч км.

В вертикальном направлении атмосферу делят на пять основных слоев, отличающихся характером изменения температуры воздуха с высотой. Эти слои называются: тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера и экзосфера. Основные атмосферные слои разделяются переходными слоями относительно небольшой вертикальной протяженности под названием тропопауза, стратопауза, мезопауза и термопауза.

Вопросы для самоконтроля

1. Что изучает климатология?
2. Что изучает метеорология?
3. Основные задачи метеорологии?
4. Что такое климат?
5. Организация гидрометеорологических наблюдений в РФ.
6. Что такое атмосфера?
7. Состав и вертикальное строение атмосферы.
8. Основные свойства атмосферы.
9. Состав и строение атмосферы.

Список литературы

Основная

1. Захаровская Н. Н. Метеорология и климатология / Н. Н. Захаровская, В. В. Ильинич. – М.: Колос, 2005. 127 с.: ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - **ISBN 5-9532-0136-2**.
2. Хромов С. П., Петросянц М. А. Метеорология и климатология / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд. МГУ, 2004. 582 с. - (Классический университетский учебник). - **ISBN 5-211-04847-4**. - **ISBN 5-9532-0267-9**.

Дополнительная

1. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - **ISBN 978-5-9999-0885-8**.
2. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология», Госстрой РФ, 1999 г.
3. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.
4. Метеорология и климатология. Методические указания к расчетно-графическим работам./ С. В. Желудкова, Д. С. Майорова. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 68 с.
5. Основы агрометеорологии. Учебное пособие. / Н. Г. Левицкая, Ю. В. Бондаренко. – Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2012. – 150 с. - **ISBN 978-5-91879-163-9**.
6. Метеорологические наблюдения (Организация, производство, анализ). Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Желудкова С. В., Левицкая Н. Г., Киселева Ю. Ю. – Издательский центр «Наука». – Саратов, 2012. – 61 с.
7. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.
8. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - <http://library.sgau.ru/>;
 - dic.academic.ru;
 - <http://ru.wikipedia.org>.

ЛЕКЦИЯ 2

РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ АТМОСФЕРЫ

2. 1. Солнечная радиация и радиационный баланс земной поверхности

Солнце является основным источником энергии для всех процессов, происходящих на земной поверхности и в атмосфере.

Солнечной радиацией называется часть лучистой энергии Солнца, проникающая в земную атмосферу в виде электромагнитных волн со скоростью почти 300 000 км/с.

Солнечный свет, достигший поверхности земли, качественно неодинаков. Его спектр обычно подразделяют на три части: невидимые ультрафиолетовые лучи с длиной волны $< 0,40$ мкм, видимые лучи (0,40-0,76 мкм) и невидимые инфракрасные лучи с длиной волны $> 0,76$ мкм. На интервал длин волн от 0,1 до 4 мкм приходится 99% всей излучаемой энергии, что позволяет считать солнечную радиацию практически полностью коротковолновой.

У верхней границы атмосферы доля ультрафиолетовых лучей составляет 7%, видимых - 46%, инфракрасных - 47%.

Мощность потока солнечной радиации в Международной системе единиц СИ выражается в Вт/м². На верхнюю границу атмосферы при среднем расстоянии от Земли до Солнца (на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам), поступает 1382 Вт/м². Эта величина называется солнечной постоянной S_0 .

Проходя через атмосферу, солнечные лучи частично поглощаются, отражаются и рассеиваются атмосферой, которая тем самым изменяет количество и качество солнечной радиации, поступающей к поверхности земли.

До земной поверхности солнечная радиация доходит в виде потоков прямой и рассеянной радиации.

Прямой солнечной радиацией (S) называется поток параллельных лучей, поступающих непосредственно от видимого диска солнца на поверхность перпендикулярную падающим лучам.

Прямая солнечная радиация, падающая на горизонтальную поверхность, называется инсоляцией (S').

Интенсивность инсоляции вычисляется по формуле:

$$S' = S \cdot \sin h \quad (1)$$

где S' - количество тепла в Вт/м², получаемое горизонтальной поверхностью; S - количество тепла в Вт/м², получаемое перпендикулярной к лучу поверхностью; $\sin h$ - синус высоты солнца. При положении солнца в зените $S' = S$.

Рассеянной радиацией (D) называется часть солнечной радиации, дошедшая до поверхности земли после рассеивания атмосферой и отражения от облаков.

Общий приход прямой и рассеянной радиаций, поступающих на горизонтальную поверхность, называется суммарной радиацией:

$$Q = S' + D \quad (2)$$

где Q – суммарная радиация, S' - инсоляция, D – рассеянная радиация.

Часть суммарной радиации, отраженная от земной поверхности, называется отраженной радиацией (R_k).

Количественно отражательную способность поверхности характеризует величина альбедо. Формула альбедо представляет собой отношение количества отраженной радиации к общему потоку суммарной радиации, падающей на данную поверхность:

$$A_k = R_k / Q. \quad (3)$$

Величина альбедо выражается в долях единицы или в процентах и зависит от цвета и шероховатости поверхностей. Темные и шероховатые поверхности имеют меньшее альбедо, чем светлые и гладкие.

Земная поверхность и атмосфера, нагреваясь за счет поглощения солнечной радиации и процессов нерадиационного теплообмена, сами также излучают энергию. Это излучение называется собственным излучением земли (E_z) и встречным излучением атмосферы (E_a).

Разность между излучением земной поверхности и встречным излучением атмосферы называется эффективным излучением:

$$E_{эф} = E_z - E_a. \quad (4)$$

Радиационным балансом земной поверхности (B) называется разность между всеми потоками радиации, приходящими к земной поверхности и уходящими от нее.

Приходная часть радиационного баланса состоит из прямой (S'), рассеянной радиации (D) и встречного излучения атмосферы E_a .

Расходная часть складывается из отраженной радиации (R_k) и собственного излучения земли (E_z).

Уравнение радиационного баланса земной поверхности можно записать в следующем виде:

$$B = S' + D + E_a - R_k - E_z. \quad (5)$$

Используя значение суммарной радиации

$$Q = S' + D \quad (6)$$

и эффективного излучения, это выражение можно написать короче следующим образом

$$B = Q - R_k - E_{эф}. \quad (7)$$

Ночью коротковолновые потоки радиации отсутствуют и радиационный баланс земной поверхности равен эффективному излучению со знаком минус.

$$B = - E_{эф} \quad (8)$$

2. 2. Тепловой режим атмосферы

Тепловой режим атмосферы определяется, прежде всего, теплообменом между атмосферным воздухом и окружающей средой.

Теплообмен осуществляется следующими путями:

1 – радиационным путем за счет поглощения солнечной радиации, излучения земной поверхности и других слоев атмосферы;

2- путем теплопроводности: молекулярной между воздухом и земной поверхностью и турбулентной внутри атмосферы;

3 – в результате процессов конвекции и испарения;

4 – в результате адвекции;

5 – адиабатически – при изменении атмосферного давления.

В основном воздух нагревается от земной поверхности. Поэтому, чем дальше от источника тепла, тем воздух холоднее, т.е. с высотой температура воздуха уменьшается. Если вверх поднимается сухой воздух, то температура его уменьшается с сухоадиабатическим градиентом $\gamma = 10/100$ м, если влажный, то с влажноадиабатическим $\gamma = 0,70/100$ м.

Явление обратного хода температуры воздуха с высотой называется инверсией. Инверсионные слои могут наблюдаться как у поверхности земли, так и быть приподнятыми. Они называются «запирающими слоями» и играют отрицательную роль в экологии крупных городов.

2. 3. Характеристики влажности воздуха. Осадки и снежный покров

Для количественного выражения содержания водяного пара в атмосфере употребляют следующие характеристики влажности воздуха:

1. Упругость насыщения (E) – это упругость или давление водяного пара в состоянии насыщения. Поскольку это давление, то единицей его измерения является гПа. Упругость насыщения растет с температурой. Это значит, что при более высокой температуре воздух способен содержать больше водяного пара, чем при более низкой температуре.

2. Упругость водяного пара "e". Другими словами - это парциальное давление, которое развивает водяной пар, находясь в смеси газов, составляющих атмосферу. Это основная и наиболее употребляемая характеристика влагосодержания, которую можно рассчитать по формуле:

$$e = E' - A p (t-t'), \quad (9)$$

где e – упругость водяного пара; E' – упругость насыщения, определяемая по температуре смоченного термометра; A – коэффициент; p – атмосферное давление; t и t' – температура сухого и смоченного термометра соответственно.

3. Относительная влажность воздуха "r". Это процентное отношение фактической упругости водяного пара к упругости насыщения при данной температуре:

$$r = e/E' * 100\%. \quad (10)$$

Относительная влажность выражает степень насыщения воздуха водяными парами. Как видно из формулы, при постоянном значении упругости водяного пара "e" относительная влажность "r" может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от температуры, определяющей величину максимальной упругости водяного пара "E'". При этом с понижением температуры относительная влажность будет увеличиваться, а с повышением - уменьшаться.

4. Дефицит влажности воздуха или недостаток насыщения "d", который представляет собой разность между упругостью насыщения при данной температуре "E" и фактической упругостью содержащегося в воздухе водяного пара "e":

$$d = E - e \text{ (гПа)}. \quad (11)$$

5. Абсолютная влажность воздуха "a" – это содержание массы водяного пара в единице объема, т.е. плотность водяного пара в (г/м³).

Между абсолютной влажностью воздуха "a" и упругостью водяного пара "e" существует определенное соотношение. Если "e" выразить в гПа, то

$$a = \frac{0,8 \cdot e}{1 + 0,004t}, \text{ г/м}^3. \quad (12)$$

6. Точка росы t_d , т.е. температура, при которой содержащийся в воздухе водяной пар мог бы насытить воздух. Точку росы определяют по таблице в зависимости от упругости водяного пара. При $g=100\%$ (при насыщении) точка росы равна фактической температуре воздуха.

Осадки являются основным источником влаги в почве и играют важную роль в жизни растений.

По форме осадки, выпадающие из облаков, делятся на твердые, жидкие и смешанные. Твердые - это снег, снежные зерна, снежная крупа, ледяная крупа, ледяной дождь, град. Жидкие - дождь и морось. Смешанные - мокрый снег, снег с дождем.

В зависимости от физических условий образования и по характеру выпадения осадки подразделяются на обложные, ливневые и моросящие.

Обложные осадки - это продолжительные, выпадающие одновременно на больших площадях осадки средней интенсивности. Время их выпадения колеблется от нескольких часов до десятков часов. В умеренных широтах они дают большую часть в годовой сумме осадков.

Ливневые осадки выпадают в виде дождя, снега, крупы и града. Отличаются внезапностью начала и конца выпадения, как правило, большой интенсивностью и малой продолжительностью. Нередко сопровождаются грозами и шквалами.

Моросящие осадки - морось, снежные зерна или мельчайшие снежинки. Характеризуются очень слабой интенсивностью выпадения и малым количеством осадков.

Количество осадков определяется слоем воды, который образовался бы на ровной поверхности при условии, если бы вода не стекала с нее, не просачивалась в почву и не испарялась. Толщину этого слоя выражают в мм.

Зимой в умеренных и высоких широтах осадки выпадают преимущественно в виде снега. В результате этого на поверхности земли устанавливается снежный покров. В силу своих физических свойств он обладает слабой теплопроводностью, благодаря чему почва, покрытая снегом, защищена от резких колебаний температуры, а зимующие культуры – от вредного воздействия низких температур.

Снежный покров аккумулирует осадки холодного периода и весной при таянии снега дает много воды, значительная часть которой проникает в почву.

Высота снежного покрова измеряется с помощью постоянных снегомерных реек, устанавливаемых на постоянных участках, и переносных снегомерных реек, применяемых при снегомерных съемках. Кроме высоты снежного покрова при снегомерной съемке с помощью весового снегомера определяется плотность снега. Зная высоту и плотность снега, можно легко определить запас содержащейся в нем

воды в мм. Для этого надо увеличить в 10 раз произведение средней высоты и средней плотности снежного покрова. Плотность свежеснежавшего снега очень мала и составляет примерно 0.1г/см³. Под действием собственной массы, ветра и оттепелей снег уплотняется и в конце зимы плотность его превышает 0.3г/см³. За зиму в снеге накапливаются большие запасы воды (до 200 мм и более).

Вопросы для самоконтроля

1. Виды потоков солнечной радиации.
2. Понятие альбедо, эффективного излучения и радиационного баланса земной поверхности.
3. Уравнение теплового баланса земной поверхности.
4. Количественные характеристики влажности воздуха.
5. Виды и типы атмосферных осадков.

Список литературы

Основная

1. Захаровская Н. Н. Метеорология и климатология / Н. Н. Захаровская, В. В. Ильинич. – М.: Колос, 2005. 127 с.: ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 5-9532-0136-2.
2. Хромов С. П., Петросянц М. А. Метеорология и климатология / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд. МГУ, 2004. 582 с. - (Классический университетский учебник). - ISBN 5-211-04847-4. - ISBN 5-9532-0267-9.

Дополнительная

1. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.
2. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология», Госстрой РФ, 1999 г.
3. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.
4. Метеорология и климатология. Методические указания к расчетно-графическим работам./ С. В. Желудкова, Д. С. Майорова. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 68 с.
5. Основы агрометеорологии. Учебное пособие. / Н. Г. Левицкая, Ю. В. Бондаренко. – Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2012. – 150 с. - ISBN 978-5-91879-163-9.
6. Метеорологические наблюдения (Организация, производство, анализ). Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Желудкова С. В., Левицкая Н. Г., Киселева Ю. Ю. – Издательский центр «Наука». – Саратов, 2012. – 61 с.
7. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.
8. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - <http://library.sgau.ru/>;
 - dic.academic.ru;
 - <http://ru.wikipedia.org>.

ЛЕКЦИЯ 3

ОБЩАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ. ПРОГНОЗ ПОГОДЫ

3. 1. Атмосферное давление. Циклоны и антициклоны

Одной из основных характеристик физического состояния атмосферы является атмосферное давление.

Атмосферное давление - это сила, с которой давит на единицу земной поверхности столб воздуха, простирающийся от поверхности земли до верхней границы атмосферы.

В метеорологии принято выражать атмосферное давление в мм рт. ст., миллибарах или гектопаскалях. В международной системе единиц СИ атмосферное давление выражают в гПа. Между единицами измерения давления существует определенное соотношение: 1 мб = 1 гПа = 0.75 мм рт. ст., а 1 мм рт. ст. = 1.33 мб.

Нормальным у поверхности Земли принято считать атмосферное давление равное 760 мм рт. ст. или 1013 гПа.

Согласно основному уравнению статики, атмосферное давление уменьшается с высотой, т.к. уменьшается толщина и плотность вышележащего слоя воздуха.

В линейном приближении основное уравнение статики атмосферы можно записать следующим образом:

$$\Delta p = - \rho g \Delta h. \quad (12)$$

Разделив левую и правую части на Δh , получим второй вид основного уравнения статики атмосферы:

$$\Delta p / \Delta h = -\rho g. \quad (13)$$

Левая часть этого уравнения представляет собой вертикальную составляющую градиента давления, а правая - величину силы тяжести, действующей на единичный объем воздуха, масса которого равна (ρ).

Таким образом, основное уравнение статики физически выражает собой равновесие двух сил: вертикального градиента давления и силы тяжести.

Вследствие неравномерного нагревания земной поверхности горизонтальное распределение атмосферного давления в один и тот же момент времени в разных точках неодинаково.

Линии, соединяющие точки с одинаковым атмосферным давлением, называются **изобарами**. С помощью изобар на географических картах выделяют области пониженного и повышенного атмосферного давления, которые принято называть **барическими системами**.

Основные виды барических систем - это **циклоны и антициклоны**.

Циклоны представляют собой область замкнутых, концентрических изобар с самым низким давлением в центре, а **антициклоны** - это области замкнутых, концентрических изобар с самым высоким давлением в центре.

В циклонах горизонтальный градиент давления направлен от периферии к центру, и движение воздуха осуществляется против часовой стрелки. А в антициклонах, наоборот - градиент давления направлен от центра к периферии, и воздух движется по часовой стрелке.

3. 2. Ветер и воздушные течения в атмосфере

Ветром называется горизонтальное перемещение воздуха относительно земной поверхности. Причиной возникновения ветра является сила горизонтального градиента давления, который всегда направлен от высокого давления к низкому.

Ветер характеризуется скоростью и направлением. Скорость ветра обычно выражается в м/сек и зависит от величины горизонтального градиента давления. Чем больше разность давления, тем больше скорость ветра. Направление ветра определяется географическим румбом той точки горизонта, откуда дует ветер. При измерении его используется 16 румбов (8 основных и 8 промежуточных): С, СВ, В, ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ и З. Международные обозначения : N - норд (север), E - ост (восток), S - зюйд (юг), W - вест (запад).

Воздушными течениями называются системы ветров над более или менее обширными пространствами, захватывающие значительную толщу атмосферы и обладающие определенной устойчивостью во времени.

К основным воздушным течениям относятся пассаты, муссоны, воздушные течения в циклонах и антициклонах, струйные течения, наблюдающиеся в высоких слоях атмосферы и местные ветры (фёны, бризы, бора, горно-долинные ветры и т.д.).

Сложная и непрерывно меняющаяся во времени и в пространстве система крупномасштабных воздушных течений над земным шаром называется **общей циркуляцией атмосферы**.

3. 3. Воздушные массы и атмосферные фронты

Воздушной массой называется громадный объем воздуха, обладающий сравнительно однородными физическими свойствами и движущийся как одно целое. Горизонтальная ее протяженность может составлять несколько тысяч км, а вертикальная мощность - от нескольких сот метров до 9-11 км (т.е. до верхней границы тропосферы).

Воздушная масса считается полностью сформировавшейся над данной территорией, если температура ее во времени (от суток к суткам) перестает изменяться. Необходимыми условиями для формирования воздушной массы являются наличие однородной подстилающей поверхности и длительное пребывание её в данном районе. В этом случае воздушная масса приобретает температуру и другие физические свойства, характерные для условий погоды в районе формирования в данный сезон, существенно отличающиеся от свойств воздушной массы, формирующейся в других географических районах. Например, зимой в умеренных широтах над большими материками формируются холодные и сухие воздушные массы, над океанами - теплые и влажные.

Под влиянием циркуляционных процессов воздушная масса перемещается, принося свои свойства на другую территорию и меняя там ранее установившуюся погоду.

Классификация воздушных масс.

Воздушные массы классифицируют по термическому и географическому признакам. По термическому признаку выделяют теплые, холодные и нейтральные воздушные массы.

По географическому положению очагов формирования воздушные массы делятся на 4 типа: арктический или антарктический воздух (АВ); воздух умеренных широт (УВ); тропический (ТВ) и экваториальный (ЭВ).

Каждый из этих типов воздушных масс, кроме экваториального, делится на морской и континентальный воздух.

Различные по своим свойствам воздушные массы находятся в постоянном движении. Морские воздушные массы могут проникать в восточном направлении до нескольких тысяч км, к западу на 300-1000 км, дальше они трансформируются, превращаясь в континентальные воздушные массы.

Атмосферным фронтом называется зона раздела между двумя различными воздушными массами. Температурные градиенты в зоне фронта достигают $4-5^{\circ}$. Ширина фронтальных зон у земной поверхности составляет не более 100 км, длина - несколько тысяч км. Вверх фронтальные слои прослеживаются вплоть до стратосферы, в этих слоях они называются высотными фронтальными зонами (ВФЗ).

Главной причиной образования фронтов являются условия атмосферной циркуляции, при которых происходит сближение двух резко различающихся по температуре и другим физическим свойствам воздушных масс, например сухих и холодных с влажными и теплыми.

С прохождением фронтов связаны наиболее резкие неперiodические изменения погоды, выпадение большого количества осадков, сильные ветры и многие катастрофические явления погоды. При этом погода в районе фронта и после его прохождения зависит от типа этого фронта и характера встречи воздушных масс.

Теплые фронты образуются в том случае, когда масса теплого и обычно влажного воздуха натекает на клин относительно холодного воздуха и вытесняет его, захватывая новые пространства.

При формировании теплого фронта на значительной территории наблюдаются определенные условия погоды. В связи с восходящим движением теплого воздуха вдоль фронта развивается мощный облачный покров, из которого выпадают осадки. Приближению теплого фронта предшествует постепенное понижение атмосферного давления. Затем последовательно появляются перистые и перисто-слоистые облака, сменяющиеся высококучевыми и высокослоистыми. Постепенно облака закрывают все небо, температура несколько повышается, давление быстро падает, и перед самым фронтом появляются слоисто-кучевые и слоисто-дождевые облака, из которых выпадают осадки. Перистые облака появляются в западной части горизонта обычно за 3 суток до начала дождя. С теплыми фронтами связаны широкие зоны выпадения осадков, которые могут продолжаться 10-12 часов, а иногда и несколько суток.

Холодный фронт образуется тогда, когда северные ветры приносят холодный воздух в область ранее занятую теплым воздухом. При этом более холодный и потому более плотный воздух клином подтекает под теплый воздух, вытесняя его в сторону и вверх. На холодном фронте преобладают кучевообразные облака и выпадают ливневые осадки, часто с грозой и градом. Приближение холодного фронта отмечается понижением давления. После того, как он пройдет, давление растет, а температура падает. Скорость ветра перед ХФ увеличивается, а направление его после прохождения фронта сменяется с ЮЗ на СЗ. Через 12-24 часа после прохождения фронта небо проясняется.

Относительно земной поверхности фронты перемещаются со скоростями от 30-40 до 80-100 км/ч и за сутки могут переместиться на расстояние более 1000 км. Когда теплый или холодный фронт застывает в каком-либо районе, то образуются так называемые стационарные фронты. Они могут оставаться неподвижными в течение нескольких суток. В дальнейшем они могут снова начать двигаться или контраст температур постепенно уменьшается и фронт размывается. Иногда происходит

окклюдирование фронта. Фронты окклюзии являются следствием наложения одного фронта на другой ранее образовавшийся. При этом теплый воздух вытесняется вверх и отрывается от земной поверхности, а у земли фронт перемещается под влиянием холодных воздушных масс.

3. 4. Прогнозы погоды

Хозяйственная деятельность человека в любой отрасли народного хозяйства зависит от погоды. Особенно это касается с/х производства, которое отличается от других сфер производства чрезвычайно сильной зависимостью от погодных условий, недаром его называют цехом под открытым небом. Правильный учет погодных условий позволяет получить максимальный экономический эффект и свести к минимуму ущерб от неблагоприятных явлений погоды.

Прогнозы подразделяются на краткосрочные (сутки - трое суток), долгосрочные (месяц) и сверхдолгосрочные - на сезон.

При краткосрочном прогнозировании используется в основном синоптический метод, базирующийся на составлении синоптических карт регионов и на их последующем анализе. Синоптические карты составляются по данным наблюдений метеорологических станций за определенный срок наблюдений, которые в зашифрованном виде передаются в центры службы погоды. Вся эта информация о температуре, атмосферном давлении, осадках, высоте облаков, скорости и направлении ветра цифрами и условными знаками наносится на синоптическую карту, которые составляются 4 раза в сутки. Затем эти карты подвергают обработке: проводят изобары, выявляют расположение барических систем и их центров, расположение атмосферных фронтов, выделяют зоны облачности и осадков. Обработанная синоптическая карта дает представление о фактической погоде на больших площадях земного шара. Кроме приземных карт составляются также и карты для разных высот в атмосфере (высотные карты).

Сопоставление вновь составленных синоптических карт с предыдущими картами и дает возможность проследить перемещение и эволюцию циклонов и антициклонов, атмосферных фронтов и с той или иной вероятностью наметить пути и скорости их перемещения на ближайшее время. С учетом этого и делается заключение об ожидаемой погоде в рассматриваемом районе. Краткосрочный прогноз погоды составляется также 4 раза в сутки на 18-36 часов.

Большое значение для анализа и прогноза погоды и повышения их качества имеет использование спутниковой информации и различных динамических или численных методов.

В настоящее время оправдываемость краткосрочных прогнозов достаточно велика и составляет 80-90%.

В отличие от краткосрочных прогнозов, проблема долгосрочных прогнозов погоды остается чрезвычайно сложной и нерешенной. Наибольшее распространение из множества испытанных методов получил прием подбора аналогов, предполагающий, что если предыдущие условия погоды в текущем году сходны с погодой года-аналога, то и последующее развитие погоды будет сходным, а, следовательно, и погода в будущем окажется примерно такой же как в году-аналоге. Однако метод этот не свободен от грубых ошибок и оправдываемость долгосрочных прогнозов в среднем составляет около 70%.

3. 5. Опасные явления погоды

К числу опасных гидрометеорологических явлений относятся заморозки, засухи, суховеи, пыльные бури, град.

Заморозками называют понижения температуры воздуха до нуля градусов и ниже на фоне положительных среднесуточных температур весной и осенью. Заморозки могут наблюдаться как в воздухе, так и на почве.

По условиям образования заморозки разделяются на радиационные, адвективные и адвективно-радиационные.

Радиационные заморозки возникают вследствие охлаждения деятельной поверхности и прилегающих слоев воздуха из-за большого эффективного излучения. Они обычно образуются в тихую ясную погоду ночью, редко бывают сильными и с восходом Солнца быстро исчезают.

Адвективные заморозки образуются в результате вторжения холодных воздушных масс (обычно арктических воздушных масс). Адвективные заморозки могут обусловить резкое и сильное понижение температуры воздуха. Они могут начаться в любое время суток и длиться непрерывно несколько суток подряд. Часто эти заморозки наблюдаются при большой облачности и сильном ветре.

Адвективно-радиационные заморозки возникают при адвекции холодного воздуха, охлаждение которого усиливается большим эффективным излучением. Наиболее сильными эти заморозки бывают ночью при ясной погоде. При радиационных и адвективно-радиационных заморозках всегда образуются приземные инверсии температуры.

Засуха – это агрометеорологическое явление, вызывающее резкое несоответствие между потребностью растений во влаге и её поступлением из почвы, вследствие недостаточного количества осадков и повышенной испаряемости. В результате этого несоответствия снижаются урожаи сельскохозяйственных культур, а при длительных и интенсивных засухах растения могут погибнуть до формирования урожая.

Почвенная засуха характеризуется отсутствием физиологически доступной растениям влаги в почве.

Суховей – это сложное метеорологическое явление, характеризующееся низкой относительной влажностью воздуха (менее 30%) в сочетании с высокой (выше 25⁰) температурой воздуха и скоростью ветра не менее 5 м/с.

Под воздействием суховея нарушаются такие физиологические процессы, как фотосинтез, дыхание, углеводный и белковый обмен, что также приводит к снижению продуктивности растений.

Для борьбы с засухами и суховеями в практике сельскохозяйственного производства применяются разнообразные способы, которые направлены на снижение несоответствия между потребностью растений во влаге и фактической влагообеспеченностью. Эти способы включают все виды орошения, снегозадержание, полезащитное лесоразведение, известные приемы обработки почвы, мульчирование почвы, варьирование сроками посева и т.д.

Пыльной бурей называется перенос большого количества пыли или песка сильным ветром (более 10 м/с). Это типичное явление пустынь и степей. Комплекс факторов, увеличивающих вероятность возникновения пыльной бури, включает иссушенность верхнего горизонта почвы, отсутствие растительного покрова на полях и низкая относительная влажность воздуха. Поэтому наибольшая вероятность пыльных

бурь отмечается весной и летом. Значительно реже пыльные бури наблюдаются и зимой.

Для защиты почвы от ветровой эрозии широко используется посадка древесно-кустарниковых форм в виде полос поперек господствующего направления ветра. Полезащитные лесные полосы уменьшают скорость ветра, способствуют накоплению снега в зимний период, чем в значительной мере улучшают влагообеспеченность посевов.

Значительный ущерб сельскому хозяйству могут нанести град и сильные ливни.

Град – это твердые осадки, выпадающие в теплое время года из мощных кучево-дождевых облаков, в виде частичек плотного льда различных, иногда крупных размеров. Град всегда наблюдается при грозе, обычно вместе с ливневым дождем и выпадает полосами. Интенсивный град может уничтожать посевы, сильно повреждать насаждения.

Для проведения противоградовых работ организуются противоградовые отряды, работа которых сокращает убытки от града на защищаемой территории на 50-70%.

Сильные ливни за сутки могут дать 80-100 мм осадков. На Европейской части страны интенсивные ливни часто вызывают полегание зерновых культур на 20-30% посевных площадей, а в отдельные годы – на 80%. При полегании ухудшается налив зерна, затрудняется уборка и увеличиваются потери урожая.

Сильные ливневые дожди не успевают проникнуть в почву и большая их часть стекает, смывая верхние плодородные слои почвы со склонов и вызывая водную эрозию.

Для борьбы с водной эрозией укрепляют овраги, проводят террасирование, сажают леса, проводят задержание талых вод. Обработку почвы и посев проводят поперек склона, на эрозионно опасных склонах размещают многолетние травы.

Вопросы для самоконтроля

1. Атмосферное давление и его изменение с высотой.
2. Понятие барической ступени.
3. Циклоны и антициклоны. Погода, которую определяют они зимой и летом.
4. Ветер и воздушные течения в атмосфере.
5. Понятие общей циркуляции атмосферы.
6. Воздушные массы и атмосферные фронты.
7. Понятие синоптической карты.
8. Прогнозы погоды.
9. Опасные явления погоды.
10. Виды заморозков по условиям образования.

Список литературы

Основная

1. Захаровская Н. Н. Метеорология и климатология / Н. Н. Захаровская, В. В. Ильинич. – М.: Колос, 2005. 127 с.: ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 5-9532-0136-2.
2. Хромов С. П., Петросянц М. А. Метеорология и климатология / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд. МГУ, 2004. 582 с. - (Классический университетский учебник). - ISBN 5-211-04847-4. - ISBN 5-9532-0267-9.

Дополнительная

1. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - **ISBN** 978-5-9999-0885-8.
2. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология», Госстрой РФ, 1999 г.
3. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.
4. Метеорология и климатология. Методические указания к расчетно-графическим работам./ С. В. Желудкова, Д. С. Майорова. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 68 с.
5. Основы агрометеорологии. Учебное пособие. / Н. Г. Левицкая, Ю. В. Бондаренко. – Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2012. – 150 с. - **ISBN** 978-5-91879-163-9.
6. Метеорологические наблюдения (Организация, производство, анализ). Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Желудкова С. В., Левицкая Н. Г., Киселева Ю. Ю. – Издательский центр «Наука». – Саратов, 2012. – 61 с.
7. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.
8. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - <http://library.sgau.ru/>;
 - dic.academic.ru;
 - <http://ru.wikipedia.org>.

ЛЕКЦИЯ 4

КЛИМАТ И ФАКТОРЫ ЕГО ФОРМИРОВАНИЯ

4. 1. Основные факторы климатообразования

К числу основных климатообразующих факторов относятся солнечная радиация, атмосферная циркуляция и подстилающая поверхность. Под их совместным влиянием и происходит формирование климатов в различных местах земного шара.

Количество солнечной радиации, поступающей на поверхность Земли, и значения связанных с нею характеристик радиационного баланса, зависят от географической широты местности, которая определяет полуденную высоту солнца над горизонтом, продолжительность дня и ночи, а, следовательно, и приход-расход лучистой энергии Солнца. Кроме того, радиационный баланс зависит от характера и увлажнения подстилающей поверхности, определяющих величину альбедо и эффективного излучения.

Распределение годовых сумм радиации по земной поверхности носит зональный характер.

Наибольшее количество тепла от солнца получают экваториальная зона и тропические широты. В этих же районах отмечаются наибольшие величины радиационного баланса, благодаря чему в этих местах создаются жаркие тропические климаты.

Максимальный радиационный баланс на материках наблюдается в районах с небольшой облачностью и большой влажностью воздуха (экваториальная Африка, п-ов Индостан, устье р. Амазонки), на океанах - это тропические широты Атлантического и Тихого океанов, север Аравийского моря и Бенгальского залива.

Наименьшее количество тепла и наименьшие величины радиационного баланса отмечаются в полярных районах, расположенных у полюсов, что создает в этих местах суровые холодные климаты.

В среднем тропические широты получают за год солнечной радиации в 2,5 раза больше, чем полярные (200 и 80 ккал/см² год).

Вследствие различного нагревания широтных поясов земного шара, а также различий в нагревании и охлаждении земной и водной поверхностей, возникает атмосферная циркуляция, осуществляющая междуширотный обмен воздушных масс и выступающая также в качестве основного климатообразующего фактора.

Основные черты климата во многом определяются преобладающими формами циркуляции атмосферы. В районах, где преобладают циклоны, формируются мягкие климаты с большим количеством осадков, а там, где преобладают антициклоны, формируются суровые, сухие климаты.

Циркуляция атмосферы усложняет схему широтных изменений климата. На одной и той же широте, в силу циркуляционных различий на западных и восточных берегах материков, наблюдаются неодинаковые климатические условия: теплая зима Южной Франции и суровая зима Приуралья, сухое лето Сицилии и дождливое лето Японии и т.д.

Существенное влияние на климатообразование оказывает подстилающая поверхность. От характера подстилающей поверхности зависят физические свойства располагающихся над ней воздушных масс. Особенно существенное и различное влияние на климат оказывают два основных вида подстилающей поверхности: вода и

суша, под действием которых создаются два типа климата: морской и континентальный.

Морской климат характеризуется небольшими годовыми амплитудами температуры воздуха и большим количеством осадков, континентальный - большими годовыми амплитудами температуры и уменьшением осадков и увеличением амплитуд по мере удаления от океанов вглубь материка.

Большое влияние на климат оказывают морские течения.

Теплые течения, направленные в высокие широты, например Гольфстрим, создают на омываемых ими берегах особый климат с очень теплой зимой и малой годовой амплитудой колебания температуры. Благодаря теплоте течения Гольфстрим в Мурманске наблюдается такая же средняя месячная температура января, как в Волгограде, расположенном значительно южнее. На берегах, омываемых теплыми течениями, выпадает повышенное количество осадков, причем осадки часто сопровождаются грозами и бурями.

Холодные течения, направленные в сторону экватора, например, Лабрадорское или Калифорнийское, вызывают понижение температуры и частые туманы на омываемых ими берегах. Все холодные течения в большей или меньшей степени усиливают бездождевые климаты и играют немаловажную роль в образовании береговых пустынь.

Большое влияние на климат оказывает рельеф, особенно крупные его формы - горные хребты и высокие плоскогорья. В горной местности создается особый тип климата, носящий название горного климата. Горные хребты могут являться границей разделяющей области с различными климатическими условиями. Например, климат Закавказья благодаря Кавказскому хребту значительно отличается от климата Предкавказья. Кроме того, горные хребты могут изменять направление воздушных течений. Расположенные перпендикулярно к преобладающим влажным ветрам, они создают благоприятные условия для конденсации водяного пара. Ввиду этого на склонах, обращенных в сторону влажных ветров, осадков выпадает больше, чем на противоположных склонах.

Определенное влияние на климат оказывает снежный и ледяной покров. Различным будет влияние на климат обнаженной почвы и поверхности, покрытой растительностью. При этом травянистая растительность будет оказывать на климат иное влияние, чем лесная и т.д.

4. 2. Понятие макро-, мезо- и микроклимата

Кроме общего понятия «климат» различают понятия макроклимата, мезоклимата и микроклимата. В основу выделения этих понятий положены масштабы климатических явлений, определяемые масштабами климатообразующих факторов.

Под макроклиматом понимают климатические явления, определяемые факторами крупного масштаба: общециркуляционными процессами, географической широтой места, макрорельефом, т.е. макроклимат – это климат географической или природной зоны.

Мезоклимат или местный климат определяется климатообразующими факторами более мелкого масштаба: мезорельефом, растительными массивами, близостью крупных водных объектов. Мезоклиматические особенности прослеживаются в слое воздуха от десятков до сотен метров. Примером мезоклимата может быть климат города, где наблюдается более высокий температурный режим (на 4⁰ выше, чем за

городской чертой), другие величины радиационного баланса, большее количество облачности и осадков, свой режим ветра, меньшая вероятность заморозков и т.д.

Микроклимат объединяет явления, происходящие в слое воздуха, измеряемом 1.5-2.0 м над поверхностью почвы, который находится в непосредственной зависимости от свойств деятельного слоя: микрорельефа, характера растительности и т.п. Это климат отдельного склона, поля, ложбины и т.д.

В зависимости от экспозиции склоны возвышенностей, ложбин и балок получают различное количество тепла. Наиболее значительно прогреваются южные склоны, наименее – северные, причем разница в температурах почвы на глубине 1 см и приземного слоя воздуха на этих склонах, даже при небольшом уклоне (около 3°), может достигать в солнечную погоду до $5-6^{\circ}$ и более. Западные склоны несколько теплее восточных.

Рельеф оказывает большое влияние на испарение. На возвышенных местах испарение протекает более интенсивно, чем в долинах, котловинах и ложбинах, т.к. в последних наблюдается ослабленная циркуляция воздуха. Наиболее значительное испарение наблюдается на южных склонах, которые сильнеегреваются, а на северных склонах оно значительно ослаблено. Ввиду этого склоны разных экспозиций различаются между собой по запасам влаги. На южных, наиболее прогреваемых склонах, влажность почвы бывает наименьшей по сравнению с другими склонами.

Существенно улучшают микроклиматические условия полезащитные лесополосы. Исследования показывают, что относительная влажность воздуха на защищенных участках на 2-3%, а в суховейные дни на 10% больше, чем в открытой степи. Зимой полезащитные лесополосы способствуют задержанию и накоплению снега на полях. Интенсивность таяния снега на межполосных участках примерно на 25% меньше, чем в открытой степи, что способствует не только лучшему поступлению воды в почву, но и уменьшает сток и смыв почвы.

4. 3. Классификация климатов

Климатообразующие процессы Земли, действуя в различной географической обстановке, создают самые различные климатические условия. Однако распределение отдельных характеристик климата, таких как средняя температура воздуха, сумма осадков и пр., обнаруживает определенные географические закономерности: зависимость от широты, континентальности положения, орографии и пр. Очевидно, что и типы климата, т.е. сочетания этих характеристик в каких-то выбранных интервалах их значений, также должны распределяться по земному шару не хаотически, а упорядоченно, в зависимости от тех же факторов.

Для того чтобы ориентироваться в многообразии климатических условий на Земле, нужно выделить какие-то типы климатов и изучить их распределение по земной поверхности. Другими словами нужно построить классификацию климатов и осуществить климатическое районирование территории на основе этой классификации.

На основании всего, что нам уже известно, можно сказать заранее, что в распределении климатов существует более или менее ясно выраженная зональность, но эта зональность будет сильно нарушаться влиянием аazonальных факторов.

До настоящего времени было предложено большое количество классификаций климата, как для всего земного шара, так и для отдельных его частей. При выделении типов климата разные авторы исходили из разных критериев. Рассмотрим кратко

классификацию Л. С. Берга, на основе которой выделяются географические климатические зоны.

4. 4. Климатические пояса Земного шара и России

Л. С. Берг предложил при классификации климатов исходить из разработанной им классификации ландшафтно-географических зон суши. Так как климат является одним из определяющих компонентов географического ландшафта, то климатические зоны, по Бергу, в общем, совпадают с ландшафтно-географическими зонами, хотя есть и некоторые расхождения. При этом границы климатических зон выделяются не по числовым значениям метеорологических элементов, а по наиболее характерным признакам ландшафта, включая и климат, и определяемые им растительность, почвы и т. д.

Для низин Л.С. Берг выделяет 11 типов климата:

1. Климат тундр. Продолжительная и холодная зима, короткое и холодное лето; средняя температура самого теплого месяца не превышает $10-12^{\circ}$, но выше 0° . Подтип континентальный с большой годовой амплитудой температуры; подтип океанический с малой амплитудой.

2. Климат тайги. Умеренный климат с холодной зимой. Западный подтип с облачной и сравнительно богатой осадками зимой; восточно-сибирский подтип с суровой малоснежной зимой.

3. Климат лиственных лесов. Зима менее холодная, лето более теплое, чем в климате тайги.

4. Муссонный климат умеренных широт. Зима холодная, сухая, лето теплое, дождливое.

5. Климат степей. Максимум осадков приходится на лето. Первый подтип – зима умеренная (или холодная), лето теплое; второй подтип – зима теплая, лето жаркое.

6. Средиземноморский климат. Располагается в субтропиках, лето жаркое, сухое; зима теплая, влажная.

7. Климат зоны субтропических лесов. Зима относительно теплая, средняя температура самого холодного месяца выше 2° . Лето жаркое, богатое осадками.

8. Климат внутриматериковых пустынь умеренного пояса. Зима прохладная, лето очень сухое и жаркое.

9. Климат тропических пустынь (областей пассатов). Осадков очень мало. Лето жаркое. Зима тоже жаркая или теплая.

10. Климат саванн или тропического лесостепья. Температура самого холодного месяца выше 18° . Дождей много, есть ясно выраженный сухой период, приходящийся на зиму и весну. Местами развиты муссоны.

11. Климат влажных тропических лесов. Температура самого холодного месяца не ниже 18° , дождей много, сухого сезона или совсем нет, или он настолько непродолжителен, что не мешает произрастанию влаголюбивой тропической растительности. Годовая амплитуда температуры мала. Погода отличается большим постоянством изо дня в день.

На территории России в соответствии с классификацией Л. С. Берга выделяют следующие климатические зоны:

1. Климат тундр. Эта зона занимает Крайний Север страны и в пределах ЕТС почти не опускается ниже полярного круга, а на крайнем востоке южная граница достигает 60° с. ш.

2. Климат тайги. Эта зона занимает наибольшую часть территории страны, в основном за счет азиатской территории страны. В зону климата тайги входят также Камчатка и большая часть Сахалина.

3. Климат лиственных лесов. Зона с этим типом климата тянется от западных границ России до реки Обь в районе Новосибирска, сужаясь на восток в виде клина.

4. Климат степей. Зона располагается южнее зоны климата лиственных лесов, но со сдвигом к востоку.

5. Климат муссонного типа умеренных широт. В отличие от других климатических зон, имеющих в общем широтную протяженность, дальневосточная муссонная область вытянута вдоль меридиана. Климат этой зоны складывается в результате взаимодействия процессов над Азиатским материком и Тихим океаном.

К средиземноморскому типу климата можно также отнести климат Черноморского побережья от Новороссийска до Туапсе.

6. Климат российских влажных субтропиков – это климат Черноморского побережья от Туапсе до Сочи.

Б. П. Алисов предложил выделять климатические зоны и области, исходя из условий общей циркуляции атмосферы. Он выделяет 7 основных климатических зон - экваториальную, две тропические, две умеренные и две полярные (по одной в каждом полушарии), в которых климатообразование круглый год происходит под преобладающим воздействием воздушных масс только одного типа: экваториального, тропического, умеренного и арктического воздуха.

Между ними он различает 6 переходных зон, по 3 в каждом полушарии, характеризующихся сезонной сменой преобладающих воздушных масс. Это две зоны тропических муссонов, в которых летом преобладает экваториальный, а зимой – тропический воздух; две субтропические зоны, в которых летом преобладает тропический, а зимой – полярный воздух; зоны субарктическая и субантарктическая, в которых летом преобладает полярный, а зимой арктический или антарктический воздух.

Границы зон определяются по среднему положению климатологических фронтов.

В каждой из широтных зон различаются 4 основных типа климата: материковый, океанический, климат западных и климат восточных берегов.

4. 5. Антропогенное влияние на климат

Окружающая нас природа не остается постоянной. Она находится в процессе непрерывного изменения и развития. В связи с этим изменениям подвергается и климат, являющийся одним из факторов этой среды.

На протяжении истории нашей планеты климат менялся неоднократно. При этом основные гипотезы, объясняющие колебания и периодические изменения климата в прошлом, основываются на естественных факторах.

Все эти гипотезы можно объединить в 3 группы:

1 - астрономические гипотезы, связывающие изменения климата с изменениями элементов земной орбиты и перемещениями оси вращения Земли;

2 - физические гипотезы, связывающие изменения климата с изменением интенсивности и свойств солнечной радиации, поступающей на земную поверхность и изменениями в составе земной атмосферы;

3 - геолого-географические гипотезы, учитывающие тектонические явления: крупные поднятия земной коры, изменения в расположении и конфигурации материков и океанов, в направлении и мощности морских течений и др.

Современное глобальное потепление климата, в отличие от предыдущих изменений климата, обусловленных естественными факторами, связывают с антропогенным воздействием человека на природу и называют антропогенным изменением климата.

Наиболее вероятной причиной этого явления большинство ученых считают усиление парникового эффекта под влиянием роста концентрации углекислого газа в атмосфере, которое происходит в основном в результате сжигания все возрастающих количеств угля, нефти и других видов углеродного топлива.

Углекислый газ почти совершенно прозрачен для коротковолновой солнечной радиации. В то же время он является очень сильным поглотителем тепловой длинноволновой радиации.

Накопление CO_2 в атмосфере и усиление парникового эффекта вызывает, по мнению ученых, опасный разогрев атмосферы, что в конечном счете может привести к катастрофическим последствиям в общепланетарном масштабе.

Фактором изменения климата является и хозяйственная деятельность человека, в процессе которой изменяются физические свойства подстилающей поверхности: производится вырубка или насаждение лесов, распашка степей, осушение болот, создание водохранилищ, оазисов, искусственное орошение посевов сельскохозяйственных культур и др.

Все эти мероприятия заметно влияют на метеорологические условия, а также на термический и водный режим почвы тех площадей, где они осуществляются, но воздействия эти быстро сглаживаются с увеличением расстояния.

Например, активные воздействия на микроклимат сельскохозяйственных полей, с целью его улучшения путем мелиорации, с успехом проводятся уже в течение длительного времени. Вопросы же воздействия на климат больших пространств с целью коренных преобразований климата, разрабатываются пока только теоретически.

Вопросы для самоконтроля

1. Основные факторы климатообразования.
2. Понятие макро-, мезо- и микроклимата.
3. Классификация климатов.
4. Климатические пояса Земного шара.
5. Климатические пояса России (классификация Л. С. Берга).
6. Классификация климатических зон и областей по Б. П. Алисову.
7. Антропогенное влияние на климат.
8. Колебания и современные изменения климата.

Список литературы

Основная

1. Захаровская Н. Н. Метеорология и климатология / Н. Н. Захаровская, В. В. Ильинич. – М.: Колос, 2005. 127 с.: ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 5-9532-0136-2.
2. Хромов С. П., Петросянц М. А. Метеорология и климатология / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд. МГУ, 2004. 582 с. - (Классический университетский учебник). - ISBN 5-211-04847-4. - ISBN 5-9532-0267-9.

Дополнительная

1. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - **ISBN** 978-5-9999-0885-8.
2. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология», Госстрой РФ, 1999 г.
3. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.
4. Метеорология и климатология. Методические указания к расчетно-графическим работам./ С. В. Желудкова, Д. С. Майорова. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 68 с.
5. Основы агрометеорологии. Учебное пособие. / Н. Г. Левицкая, Ю. В. Бондаренко. – Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2012. – 150 с. - **ISBN** 978-5-91879-163-9.
6. Метеорологические наблюдения (Организация, производство, анализ). Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Желудкова С. В., Левицкая Н. Г., Киселева Ю. Ю. – Издательский центр «Наука». – Саратов, 2012. – 61 с.
7. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.
8. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - <http://library.sgau.ru/>;
 - dic.academic.ru;
 - <http://ru.wikipedia.org>.

ЛЕКЦИЯ 5

ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ КУРСА «ГИДРОЛОГИЯ»

Сегодняшняя лекция одна из первых, вводящая вас в удивительный и многогранный мир наук о воде, которая, благодаря своим уникальным особенностям играет универсальную роль в природе.

Антуану де Сент-Экзюпери принадлежат такие слова: «Вода! У тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, тебя не опишешь, тобой наслаждаешься, не понимая, что ты такое. Ты не просто необходима для жизни, ты и есть жизнь... Ты – величайшее в мире богатство...»

Вода используется человеком не только как необходимый продукт жизнедеятельности (питьевая вода, вода в составе продуктов питания), но и широко применяется в современной экономике для получения энергии (гидроэнергетика, тепловая и атомная энергетика). Она необходимое условие существования сельского, лесного и водного хозяйств, добывающих отраслей промышленности, водного транспорта, рыбного хозяйства, коммунального хозяйства, отдыха и туризма. Вода – важнейший компонент многих экосистем, причем не только водных, но и наземных. Вода поистине пронизывает всю жизнь человека.

Велико и многообразно значение воды в развитии общественной жизни человека, в его хозяйственной и культурной жизни. Неоценима приносимая ею польза, но очень часто катастрофически огромным бывает причиняемый водной стихией вред. Поэтому издавна усилия людей направлены на то, чтобы не только ограничить вредное воздействие воды, но и заставить ее служить человеку. Успех этих усилий в значительной мере зависит от того, насколько глубоко и всесторонне изучен режим водных объектов, взаимосвязь режима вод и других явлений природы.

5. 1. Предмет гидрологии. Значение гидрологии для экономики страны. Связь с другими науками

5. 1. 1. Предмет гидрологии

Изучением природных вод Земного шара занимается обширная наука – гидрология. Слово гидрология происходит от сочетания двух греческих слов: гидро (вода) и логос (наука), т.е. наука о воде.

Термин «гидрология» впервые появился в конце 17 века в книге Мельхиора (Франкфурт - на Майне), которая содержала «начало учения о водах». Определение же гидрологии как науки появилось во второй половине 18 века: П. Варгентин считал, что гидрология « есть полезная и нужная часть натуральной истории». Впоследствии было дано много определений гидрологии как науки. Утвердилось и используется в настоящее время следующее: гидрология – наука, занимающаяся изучением гидросферы, явлений и процессов в ней протекающих во взаимосвязи с атмосферой, литосферой и биосферой.

Предметом изучения гидрологии являются водные объекты - океаны, моря, реки, озера, водохранилища, болота, ледники, почвенные и подземные воды.

В связи со специфическими особенностями объектов и методов их изучения гидрология разделяется на три самостоятельные дисциплины: океанологию, гидрологию поверхностных вод суши и гидрогеологию.

В настоящем курсе предусмотрено изучение гидрологии поверхностных вод суши.

По направленности и методам исследований в гидрологии выделяются следующие крупные разделы: общая гидрология, изучающая сущность и закономерности гидрологических процессов и явлений; гидрография, использующая методы описания конкретных водных объектов (географическое положение, размеры и т. п.), гидрометрия, рассматривающая методы и приборы при изучении гидрологического режима вод, инженерная (прикладная) гидрология, занимающаяся решением инженерных задач в проектировании строительстве, комплексном и рациональном использовании водных ресурсов.

5. 1. 2. Значение гидрологии для экономики страны

Использованию водных ресурсов предшествует всестороннее изучение различных характеристик водных объектов: уровней, глубин, скоростей и расходов воды, стока наносов. Данные исследования, наряду с топографическими и геологическими, неперенная, обязательная часть инженерных изысканий при проектировании объектов водохозяйственного строительства. Развитие сельского хозяйства, промышленности, транспорта, гидроэнергетики, лесосплава, рыбного хозяйства и других отраслей экономики тесно связано с использованием водных ресурсов.

Наиболее полно и рационально проблемы водного хозяйства решаются при комплексном использовании водных ресурсов, когда удовлетворяются потребности водохозяйственного комплекса. При этом под водохозяйственным комплексом понимают совокупность отраслей экономики, совместно использующих сток одного речного (озерного) бассейна. Комплекс же взаимосвязанных водных объектов и гидротехнических сооружений (ГТС), предназначенных для обеспечения рационального использования и охраны вод, называют водохозяйственной системой.

5. 1. 3. Связь гидрологии с другими науками

Гидрология вначале развивалась в тесной связи с гидротехникой, т.к. правильное определение параметров проектируемых ГТС невозможно без детального изучения гидрологического режима рек.

Затем она выделилась в самостоятельную науку, но достаточно тесно связанную с рядом других наук.

Гидрологический режим реки отличается большим непостоянством в силу изменчивости определяющих его метеорологических факторов. Для того чтобы правильно оценить эту изменчивость, приходится использовать методы математической статистики и теории вероятностей. Вместе с тем гидрология теснейшим образом связана с физической географией, т.к. реки являются частью географического ландшафта.

Гидрология изучает широкий спектр вопросов, связанных с формированием стока и деятельностью воды на поверхности суши. И здесь гидрологу необходимы знания по геоморфологии, почвоведению, биологии, геологии. При изучении собственно гидрологических процессов необходимы метеорология, гидравлика, гидромеханика, гидрофизика.

Гидрология, особенно инженерная гидрология, является фундаментальной дисциплиной при изучении таких курсов, как гидротехника, мелиорация, комплексное использование и охрана водных ресурсов.

Все вышеизложенное свидетельствует о том, что для освоения выбранной вами специальности необходимо изучение не только гидрологии, но и целого ряда смежных дисциплин.

5. 2. Краткие исторические сведения о развитии гидрологии

Интерес к истории гидрологии очень велик, так как вода играет определяющую роль в жизни людей, существовании всей флоры и фауны.

Развитие гидрологических знаний всегда стимулировалось, во-первых, извечным стремлением людей познать неизвестное, в частности законы природы, и, во-вторых, практическими потребностями.

В глубокой древности жизнь человека вблизи воды, особенно если эта вода использовалась им для орошения полей, во многом зависела от режима водных объектов. Человек вынужден был следить за этим режимом, вести наблюдения. К числу самых ранних гидрологических наблюдений относятся наблюдения древних египтян за колебаниями уровня воды на Ниле с помощью «ниломеров» - первых гидрологических постов.

Одновременно с началом развития других наук в Древней Греции возникли и некоторые гидрологические представления. Древнегреческий философ Фалес считал, что в основе всех явлений лежит «влажная природа», т. е. вода: все возникает из воды и в нее превращается. Другой древнегреческий философ-материалист Гераклит полагал, что в основе всего сущего лежит круговорот веществ (стихий) - огня, воздуха, воды и земли. Гераклиту принадлежит знаменитый образ реки, в которую нельзя войти дважды, поскольку она все время изменяется. Гидрологические явления вызывали большой интерес древнегреческого историка и путешественника Геродота. Он провел первые исследования древнего Нила и Дуная (Истра). К воде проявляли интерес и другие мыслители Древней Греции – Платон и Аристотель (они задумывались о происхождении рек и источников).

Вклад в развитие гидрологических знаний внесли древнеримские мыслители. Витрувий интересовался поиском подземных вод, Герон Александрийский первым предположил, что расход воды равен произведению площади поперечного сечения потока на скорость течения. О познании древних римлян в гидрологии и гидротехники свидетельствуют и акведуки – водопроводы Рима – удивительные сооружения древнего мира.

Новый толчок в развитии гидрологических знаний приходится на эпоху Возрождения. Леонардо да Винчи (1452-1519) одним из первых нашел правильное толкование происхождения рек, отметив роль и дождевых, и подземных вод. Леонардо да Винчи провел первые наблюдения за динамикой водного потока и может считаться основоположником речной гидравлики.

Первые количественные оценки в гидрологии принадлежат Пьеру Перро (брату более известного Шарля Перро, поэта и автора сказок). Он рассчитал, что дождевой воды вполне достаточно для поддержания стока рек.

Начало гидрологических наблюдений в России относится к XV в.: в записях русских летописцев сохранились сведения о наводнениях, паводках, замерзании и вскрытии рек. Много данных о реках и озерах приведено в « Книге Большому чертежу» - приложении к одной из первых карт России (1552).

В XVII в. начались наблюдения за уровнем воды на р. Москве. При Петре I проводились первые гидрологические изыскания на Дону, Оке, Волге с целью

использования этих рек для судоходства. В 1715 г. были организованы постоянные наблюдения за режимом р. Нервы у Петропавловской крепости. В изучение рек заметный вклад внесли русские землепроходцы и географы XVIII в.

Широкое развитие гидрологических изысканий и исследований в нашей стране началось в 20-х годах прошлого столетия. Эти исследования были направлены на комплексное использование водных ресурсов страны (не только для судоходства, но и для гидроэнергетики и орошения). В 1919 г. был создан Российский гидрологический институт (ГГИ). В 1920 г. был принят план электрификации России (план ГОЭЛРО), выполнение которого потребовало проведения широких гидрологических исследований.

В 1929 г. был учрежден Гидрометеорологический комитет при Совете Народных Комиссаров СССР, на который возлагалось проведение гидрологических наблюдений и исследований. В 1933г. этот комитет был преобразован в Центральное управление Единой гидрометеорологической службы СССР (ЦУЕГМС), а в 1936г. - в Главное управление гидрометеорологической службы (ГУГМС) при Совете Министров СССР. В 1931 г. в нашей стране начались работы по составлению «Водного кадастра СССР» - систематизированных сведений о режиме рек, озер, морей, ледников, подземных вод.

В предвоенный период усилиями крупных ученых В. Г. Глушкова, Д. И. Кочерина, М. А. Великанова, Б. В. Полякова и многих других были разработаны теоретические основы гидрологии суши. Таким образом, гидрология суши как самостоятельная наука оформилась в Советском Союзе в 20-30-е годы прошлого столетия.

В послевоенные годы восстановление и дальнейшее развитие народного хозяйства страны потребовали существенного расширения гидрологических изысканий и исследований. Ведутся гидрологические работы для крупного гидроэнергетического строительства на Днестре и Волге, мелиоративных мероприятий на юге Европейской территории Союза и Средней Азии, улучшения судоходных условий на Волге и сибирских реках. Помимо перечисленных выше ученых крупный вклад в развитие гидрологии суши внесли Б. А. Аполлов, Б. Д. Зайков, П. С. Кузин, Л. К. Давыдов, Г. В. Лопатин, А. В. Огиевский, Д. Л. Соколовский, М. И. Львович, Г. Г. Сванидзе, А. В. Караушев и многие другие.

В настоящее время руководство наблюдениями и исследованиями в области гидрологии суши в Российской Федерации возложено на Федеральную службу по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Росгидромету подчинены региональные управления гидрометеослужбы (УГМС), а им – местные центры по гидрометеорологии (ЦГМС) и разветвленная сеть гидрометеостанций и постов. По состоянию на январь 2004 г. в эту сеть входили 3068 гидрологических постов, в том числе 2717 речных и 351 – на озерах и водохранилищах. В систему Росгидромета входят крупные научно-исследовательские учреждения в области гидрометеорологии: Государственный гидрологический институт (ГГИ) в Санкт-Петербурге, Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации (Гидрометцентр России) в Москве, Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (ГГО) в Санкт-Петербурге и др.

С 1978 г. в СССР введен Государственный водный кадастр (ГВК), представляющий собой систематизированный, постоянно пополняемый и уточняемый свод сведений о водных объектах, составляющих единый государственный водный фонд о режиме, качестве и использовании вод. ГВК состоит из трех разделов: 1) поверхностные воды (реки и каналы; озера и водохранилища; качество вод суши; селевые потоки; ледники; моря и морские устья рек), 2) подземные воды; 3) использование вод.

5. 3. Тепловой и водный балансы

5. 3. 1. Водные ресурсы Земли

Водные ресурсы как природная категория – это все природные воды Земли, представленные водами рек, озер, водохранилищ, болот, ледников, водоносных горизонтов, морей и океанов. Водные ресурсы Земли в таком понимании представлены в таблице 5. 3. 1.

Таблица 1. Запасы воды на земном шаре

Виды природных вод	Площадь		Объем, тыс. км ³	Доля в мировых запасах, %		Средний период условного возобновлени я запасов воды
	млн. км ²	% площади суши		от общих запасов воды	От запасов пресных вод	
Вода на поверхности литосферы						
Мировой океан	361	-	1338000	96,4	-	2650 лет
Ледники и постоянный снежный покров	16,25	10,9	25780	1,86	70,2 -	9700 лет
Озера в том числе пресные	2,1 1,2	1,4 0,8	176 91	0,013 0,007	0,25 0,016	17 лет -
Водохранилища	0,4	0,3	6	0,0004	0,005	52 дня
Вода в реках	-	-	2	0,0002	0,03	19 дней
Вода в болотах	2,7	1,8	11	0,0008		5 лет
Вода в верхней части литосферы						
Подземные воды в том числе пресные	- -	- -	23400 10530	1,68 0,76	- -	1400 лет -
Подземные льды зоны многолетнемерзлых пород	2,1	14	300	0,022	0,82	10000 лет
Вода в атмосфере и в организмах						
Вода в атмосфере	-	-	13	0,001	0,04	8 дней
Вода в организмах	-	-	1	0,0001	0,003	Несколько часов

<i>Общие запасы воды</i>						
Общие запасы воды,	-	-	1388000	100	-	-
в том числе пресной	-	-	36 730	2,65	100	-

Площадь поверхности Земли 510 млн. км². Из этой площади водами Мирового океана покрыто 361 млн. км² (71 %), а площадь суши составляет 149 млн. км². Общая площадь водных объектов на поверхности суши составляет 21,5 млн км², или 14,4 % площади суши.

Таким образом, общая площадь водных объектов на поверхности Земли составляет: 361 млн. км² (океаны и моря) + 21,5 млн. км² (водные объекты суши, включая ледники) = 382,5 млн. км², т. е. 75% или 3/4 поверхности планеты.

Общий объем воды в водных объектах на земном шаре около 1390 млн. км³ при этом на долю Мирового океана приходится 96,4 % (табл. 5. 3. 1). Из этого количества лишь 2,65 % (36,7 млн. км³) приходится на долю пресных вод, большая часть которых (71 %) представлена твердой фазой (льдом).

Водные ресурсы как природная и социально - историческая категория - это: «... запасы поверхностных и подземных вод, находящихся в водных объектах, которые используются или могут быть использованы».

В такой трактовке наибольший интерес представляют пресные воды, объем которых составляет лишь 2,65 % (36,7 млн. км³) от общего запаса воды на Земле. Ресурсы пресных вод складываются из статических (вековых) запасов воды и из непрерывно возобновляемых водных ресурсов, т. е. стока рек.

Запасы пресных вод всех континентов, за исключением Антарктиды, составляют около 15 млн. км³, но распределены они между континентами неравномерно. Наибольшими статическими ресурсами обладают Северная Америка и Азия, несколько меньшими – Южная Америка и Африка и наименее богаты пресными водами Европа и Австралия с Океанией.

Возобновляемые водные ресурсы также распределены по земному шару неравномерно: на Азию приходится 32 % стока всех рек планеты, на Южную Америку – 26 %, на Европу – 7 % и на Австралию с Океанией 5 %.

Из стран мира наиболее обеспечены речными водными ресурсами Бразилия – 9230, Россия – 4348, США -2850, Китай -2600 км³ воды в год.

Несмотря на благоприятное в целом состояние возобновляемых водных ресурсов России, в целом ряде районов имеются серьезные проблемы с водообеспечением населения и хозяйства. Эти проблемы связаны с крайне неравномерным распределением водных ресурсов по территории страны, с большой их временной изменчивостью и высокой загрязненностью вод. Хорошо обеспечены водой Сибирский и Дальневосточный федеральные округа, в меньшей степени – Уральский и Северо – Западный, хуже всего - Приволжский, Центральный и Южный.

5. 3. 2. Круговорот воды в природе

Когда впервые был определен объем всех русловых речных вод Земли (0,0002 % гидросферы), удивительным казалось, что столь малый объем служит началом формирования почти всех источников пресных вод, доступных для использования.

Происходит же это благодаря удивительному природному процессу, называемому круговоротом воды (влагооборотом).

Причина неистощаемости источников с древних времен интересовала людей. Натурфилософ Греции Фалес Милетский в IV веке до н. э. считал, что морская вода вгоняется в земные недра, поднимается по горным породам вверх и, образуя источники, по речным руслам стекает в низ. Но уже Аристотель (384 – 322 гг. до н.э.) был близок к пониманию влагооборота, а Тит Лукреций Кар в I веке до н. э. в художественной форме описал процесс круговорота воды.

В настоящее время под круговоротом воды (влагооборотом) понимают постоянный обмен влагой между гидросферой, атмосферой и земной поверхностью, состоящий из процессов испарения, переноса водяного пара в атмосфере, выпадения осадков и стока.

Различают:

1. Малый или океанический круговорот, когда испарившаяся с поверхности океана вода конденсируется в воздухе и снова возвращается в океан.

2. Большой круговорот, включающий оставшуюся часть воды, выпадающую на материке и поступающую вновь в океан.

Большой круговорот включает местный или внутриматериковый влагооборот – процесс испарения и осаднения внутри материков влаги, переносимой с океана на сушу. Эта влага, прежде чем вернуться в океан, совершает несколько оборотов, снабжая влагой территории, далеко отстоящие от океана. Чем интенсивней проходит влагооборот и длительнее пребывание воды на материке, тем эффективнее ее можно использовать в экономике страны. В пределах России эти осадки не превышают 10% общего количества влаги, поступающей с океанов.

Выделяют области внешнего стока – часть суши (78 %), с которой реки несут свои воды в Мировой океан, и внутреннего стока – часть суши, с которой вода поступает в замкнутые водоемы, не сообщающиеся с Мировым океаном. В областях внутреннего стока отмечаются самостоятельные влагообороты.

5. 3. 3. Тепловой и водный балансы

Движущие силы круговорота воды – солнечная энергия и сила тяжести. Под влиянием тепла происходит испарение, конденсация водяных паров и другие процессы при фазовых переходах. Сила тяжести служит причиной падения капель дождя, течения рек, движения почвенных и подземных вод.

Количественным выражением законов сохранения вещества и энергии, участвующих во влагообороте, служат уравнения теплового и водного балансов.

Соотношение прихода и расхода тепла с учетом его изменения за выбранный интервал времени для рассматриваемого объекта называется тепловым балансом.

Уравнение теплового баланса для интервала времени Δt можно представить в виде:

$$\Delta Q = Q^+ - Q^-, \quad (14)$$

где Q^+ – теплота, поступающая к данному объекту извне, а также выделяющаяся при ледообразовании, конденсации водяного пара, разложении некоторых веществ; Q^- – теплота, удаляемая за пределы объекта, затрачиваемая в пределах объекта на испарение воды, плавление льда, химические и биохимические процессы; ΔQ – изменение за время Δt содержания теплоты в объекте. Единицы измерения в уравнении – единицы теплоты (Дж).

Наиболее важный член приходной части уравнения теплового баланса – радиационный баланс R , представляющий собой разность между количеством

суммарной коротковолновой солнечной радиации, поглощаемой поверхностью воды или суши Q_c , и эффективным длинноволновым излучением этой поверхности I :

$$R = Q_c - I = (Q + q) \cdot (1 - r) - I, \quad (15)$$

где Q – прямая, q – рассеянная солнечная радиация, r – альбедо поверхности, т. е. отношение количества отраженной солнечной радиации к количеству поступающей, I – эффективное излучение, равное разности между излучением поверхности объекта в атмосферу и поглощенным встречным излучением атмосферы.

Метод теплового баланса широко используют в гидрологии для исследования изменений температуры воды в водных объектах.

Соотношение прихода и расхода воды с учетом изменения ее запасов за выбранный интервал времени для рассматриваемого объекта называется водным балансом.

В основе развития гидрологической науки на протяжении 300 лет лежало трехкомпонентное выражение водного баланса:

$$x = y + E, \quad (15)$$

где x – осадки, y – сток, E – испарение.

Впервые оно было получено французом Пьером Перо (братом более известного Шарля Перо), который в трактате «О происхождении источников» дал количественное сопоставление атмосферных осадков и стока для верховий реки Сены.

В современном представлении уравнение можно представить в виде:

$$\Delta u = x - (y + E), \quad (16)$$

где Δu – изменение запасов воды на поверхности и в толще почвогрунтов за время Δt .

Для водного объекта или водосборного участка суши в развернутом виде уравнение водного баланса представляют в виде:

$$x + y_1 + w_1 + z_1 = y_2 + w_2 + z_2 \pm \Delta u, \quad (17)$$

где x – атмосферные осадки на поверхность объекта; y_1 – поверхностный приток воды извне; w_1 – подземный приток воды извне; z_1 – конденсация водяного пара; y_2 – поверхностный отток воды за пределы объекта; w_2 – подземный отток воды за пределы объекта; z_2 – испарение; Δu – изменение объема воды в пределах объекта.

Члены уравнения водного баланса выражают либо в величинах слоя стока (мм, см, м), либо в объемных единицах (m^3 , km^3).

5. 4. Гидрологический режим и его характеристики

Любой водный объект и его режим могут быть описаны с помощью ряда гидрологических характеристик, основными из которых являются: характеристики водного режима, характеристики теплового режима, характеристики ледового режима, характеристики режима наносов и гидрографические характеристики.

Совокупность гидрологических характеристик водного объекта в данном месте и в данный момент времени определяет гидрологическое состояние водного объекта.

Гидрологическое состояние водного объекта подвержено постоянным пространственно-временным изменениям.

В многолетнем разрезе в изменениях гидрологического состояния любого водного объекта наблюдаются определенные закономерности.

Совокупность закономерно повторяющихся изменений гидрологического состояния водного объекта – это его гидрологический режим. Сущность гидрологического режима водных объектов – это изменение гидрологических характеристик в пространстве и во времени.

Для инженерной гидрологии наибольший интерес представляют характеристики, количественно описывающие сток, т.е. характеристики водного режима.

Под стоком в гидрологии понимают количество воды, стекающей с водосборной площади за какой – либо промежуток времени.

Основными характеристиками водного режима являются: расход, объем, модуль и слой стока, а также безразмерные характеристики стока - коэффициент стока и модульный коэффициент.

Расход стока Q , м³/с - количество воды, протекающее через поперечное сечение водотока в единицу времени. Расход может быть среднесуточным, среднемесячным, среднегодовым и средним многолетним.

Объем стока W , м³, км³ - количество воды, протекающее через поперечное сечение водотока за какой-либо промежуток времени (сутки, месяц, сезон, год):

$$W = Q \cdot T. \quad (17)$$

Модуль стока q , л/с·км² – количество воды, стекающее с 1 км² площади водосбора в одну секунду:

$$Q = q \cdot F \cdot 10^3. \quad (18)$$

Слой стока h , мм – получается в результате деления объема стока на площадь водосбора:

$$h = W / F \cdot 10^3. \quad (19)$$

Между высотой слоя стока и модулем стока существует зависимость

$H = 31.5 q$. (Доказательство найти самостоятельно).

Безразмерные характеристики стока.

Коэффициент стока η – отношение высоты слоя стока к слою выпавших осадков на водосборе за один и тот же период времени, т.е. η показывает, какая часть выпавших осадков стекает поверхностным стоком:

$$\eta = h / x. \quad (20)$$

Модульный коэффициент стока K – отношение величины стока за какой-либо период к среднему многолетнему стоку.

$$K = \frac{Q}{\bar{Q}}; K = \frac{q}{\bar{q}}; K = \frac{h}{\bar{h}}; K = \frac{W}{\bar{W}}. \quad (21)$$

Вопросы для самоконтроля

1. Предмет гидрологии.
2. Значение гидрологии для экономики страны.
3. Связь гидрологии с другими науками.
4. Краткие исторические сведения.
5. Водные ресурсы Земли.
6. Круговорот воды в природе.
7. Тепловой баланс.
8. Водный баланс.
9. Гидрологический режим водных объектов.
10. Характеристики водного режима.

Список литературы

Основная

1. Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - **ISBN 978-5-06-005815-4**.
2. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - **ISBN 978-5-9999-0885-8**.

Дополнительная

1. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.
2. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004 г.
3. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения», Госстандарт СССР, М., 1988 г.
4. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.
5. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - <http://library.sgau.ru/>;
 - dic.academic.ru;
 - <http://ru.wikipedia.org>;
 - <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 6

РЕЧНАЯ СИСТЕМА

6. 1. Речная система и ее гидрографические характеристики

Речную систему составляют главная река, впадающая в приемный водоем (океан, море, бессточное озеро), и все впадающие в нее притоки различного порядка.

Вода, стекая со склонов после выпадения осадков, сначала образует мелкие бороздки, которые, сливаясь, образуют русла.

Руслом называется выработанное водотоком ложе, по которому постоянно или периодически происходит движение воды.

Совокупность русел постоянных и временных водотоков называется русловой сетью. Часть русловой сети из русел постоянных водотоков называется речной сетью.

Все водотоки (постоянные и временные), а также водоемы в виде озер, болот и водохранилищ составляют гидрографическую сеть территории. Таким образом, речная сеть лишь часть гидрографической сети.

Каждая река имеет исток, т.е. место на земной поверхности, откуда она берет начало. Истоком может быть озеро, ледник, болото, родники и место слияния двух рек.

Устьем реки называется место впадения ее в море, озеро или другую реку.

В реке также различают верхнее, среднее и нижнее течение.

Основные гидрографические характеристики речной системы: длина составляющих ее рек, густота речной сети, извилистость и разветвленность рек.

Отношение длины участка реки L_i к длине l_i , соединяющей концы этого участка, называется коэффициентом извилистости реки на данном участке:

$$k_{\text{изв}i} = L_i / l_i. \quad (22)$$

Коэффициент извилистости на отдельных участках рек изменяется от 1 до 2-3, а иногда и больше.

Поскольку на отдельных участках извилистость реки разная, общий коэффициент извилистости реки определяют по формуле:

$$k_{\text{изв общ}} = \sum L_i / \sum l_i = L / \sum l_i. \quad (23)$$

Между длиной реки L (км) и площадью бассейна F (км²) имеется определенная связь, близкая к квадратичной:

$$L = \sqrt{F}. \quad (24)$$

Например, для рек бывшего СССР получена такая осредненная эмпирическая зависимость:

$$L = 1.36 F^{0.56}. \quad (25)$$

Сумма длин всех рек в пределах бассейна или какой-либо территории дает протяженность речной сети $\sum L_i$. Отношение протяженности речной сети к площади бассейна F характеризует густоту речной сети бассейна или территории:

$$d = \sum L_i / F. \quad (26)$$

Густота речной сети в пределах равнинных территорий Европейской части России в целом уменьшается с севера на юг: в лесной зоне она составляет 0,4- 0,6 км/км², в степной 0,2- 0,3, на Прикаспийской низменности уменьшается до 0,05. На Кавказе с увеличением высоты местности густота речной сети возрастает до 0,8-1,0, а иногда и до 2 км/км² (А. Н. Важнов, 1976).

Разветвленность. Нередко русло разветвляется на несколько притоков (рукавов). Степень разветвленности выражается отношением суммы длин всех притоков и главного русла к длине соответствующего участка главного русла L :

$$K_{\text{разв.}} = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n + L / L. \quad (27)$$

где l_1, l_2, l_3 - длина рукавов.

6. 2. Водосбор и бассейн реки

Следует различать водосбор и бассейн реки. Водосбор реки - это часть земной поверхности и толщи почв и грунтов, откуда данная река получает свое питание. Поскольку питание рек может быть поверхностным и подземным. Различают поверхностный и подземный водосборы, которые могут не совпадать. Бассейн реки - это часть суши, включающая данную речную систему и ограниченная орографическим водоразделом.

Обычно водосбор и бассейн реки совпадают. Однако нередки случаи и их несовпадения. Так, если в пределах речного бассейна часть территории оказывается бессточной, то она, оставаясь частью бассейна, в состав водосбора реки не входит. Такие случаи весьма характерны для засушливых районов с плоским рельефом.

Различают физико-географические и морфометрические характеристики бассейнов.

К первым относятся: географическое положение, климатические условия (осадки, температура), геологическое строение и почвенный покров, рельеф водосбора, растительный покров, озерность, заболоченность.

К морфометрическим характеристикам относятся: площадь, форма, высота и уклон водосбора.

Площадь водосбора определяет водность реки и условия формирования стока. Определяют планиметром или палеткой по картам.

Суммируя последовательно от истока к устью площади бассейнов рек 1-го порядка можно построить график нарастания площади бассейна по длине главной реки.

Длина площади бассейна L_6 определяется расстоянием по прямой от устья реки до наиболее отдаленной точки бассейна.

Наибольшая ширина бассейна B_6 проводится перпендикулярно длине его в наиболее широком месте.

Средняя ширина бассейна $B_{6.ср.}$ определяется путем деления площади бассейна на его длину, т. е.

$$B_{6.ср.} = F_6 / L_6. \quad (28)$$

Форма водосбора может характеризоваться коэффициентом асимметрии бассейна:

$$a = F_{\text{л}} - F_{\text{п}} / F_{\text{л}} + F_{\text{п}} / 2, \quad (29)$$

где $F_{\text{л}}$ и $F_{\text{п}}$ - площадь левобережной и правобережной частей водосбора.

Речные бассейны обычно имеют грушевидную форму и характеризуются коэффициентом развития водораздельной линии бассейна – $K_{\text{в}}$, определяемом как отношение длины водораздельной линии S к длине окружности круга s с площадью равной площади речного бассейна

$$F = \pi R^2, \text{ тогда} \quad (30)$$

$$K_{\text{в}} = S/s = 0.282 S / \sqrt{F}. \quad (31)$$

Наименьшее возможное значение $K_{\text{в}} = 1$, а обычно он составляет от 1,2 до 2,6.

Среднюю высоту бассейна определяют по карте бассейна в горизонталях:

$$H_{\text{ср.}} = f_1 h_1 + f_2 h_2 + \dots + f_n h_n / F = \sum f_i h_i / F, \quad (32)$$

где f_i - площадь между горизонталями; h_i - ср. высота площадки между горизонталями; F - площадь бассейна.

Уклон водосбора. Уклон между двумя горизонталями i будет равен:

$$i = \Delta H / b, \quad (33)$$

где ΔH - сечение горизонталей; b - среднее расстояние между горизонталями.

Средневзвешенный уклон водосбора равен:

$$J_{\text{ср.}} = \Delta H (0.5l_0 + l_1 + l_2 + \dots + 0.5l_n) / F, \quad (34)$$

где l_i - длина горизонталей, м.

6. 3. Долина и русло реки

Долины – вытянутые пониженные формы рельефа с общим наклоном тальвега. По происхождению речные долины могут быть тектоническими, ледниковыми и эрозионными.

По форме поперечного профиля их подразделяют на теснины, каньоны, ущелья, V-образные, трапециевидные, корытообразные и др.

В долинах могут образовываться террасы: аккумулятивные – в результате врезания реки в собственные отложения и эрозионные – в результате воздействия потока на коренные породы.

Руслом реки называется часть долины, по которой осуществляется речной сток. Часть дна долины, по которой проходит сток в период низких вод - коренное или

меженное русло, а часть долины, сложенная наносами и периодически затапливаемая в половодье и паводки, - пойма.

Границы русла реки четко определяются берегами и бровками русла. Пойма четких границ не имеет.

В поперечном профиле долины выделяют склоны долины (вместе с уступом долины и надпойменными террасами) и дно долины. В пределах дна (ложа) долины находятся русло реки и пойма.

Русла рек по форме в плане подразделяются на прямолинейные, извилистые (меандрирующие), разделенные на рукава, разбросанные (блуждающие).

Основные морфологические элементы русла следующие: излучины (меандры), затопляемые подвижные повышения дна – осередки и более высокие, более стабильные и закрепленные растительностью острова, глубокие и мелкие участки русла – плесы и перекаты, донные гряды различного размера.

Полоса в русле реки с глубинами, наиболее благоприятными для судоходства, называется фарватером. Иногда помимо фарватера выделяют линию наибольших глубин. Линии на дне речного русла, соединяющие точки с одинаковыми глубинами, называют изобатами.

Основными морфометрическими характеристиками речного русла являются площадь поперечного сечения ω , ширина русла B между урезами при заданном его наполнении, максимальная глубина русла $h_{\max}$. Среднюю глубину русла $h_{\text{ср}}$ в данном поперечном сечении вычисляют по формуле:

$$h_{\text{ср}} = \omega / B. \quad (35)$$

Для большинства речных русел выполняется приближенное соотношение $h_{\text{ср}} \sim 2/3 h_{\max}$. В извилистом русле максимальная глубина обычно смещена к вогнутому берегу.

В гидравлических расчетах часто используют еще две характеристики русла реки – длину смоченного периметра p и гидравлический радиус R , равный:

$$R = \omega / p. \quad (36)$$

Смоченный периметр – это длина подводного контура поперечного сечения речного русла, т.е. линия контакта воды с ограничивающими ее твердыми поверхностями – с дном и берегами, а зимой также и с ледяным покровом.

Для широких и относительно неглубоких русел и для периода открытого русла (без ледяного покрова) величины гидравлического радиуса R и средней глубины $h_{\text{ср}}$ практически совпадают, поскольку в этих случаях $p \sim B$.

Максимальная ширина русла на реках может достигать десятков километров (p . Амазонка), а максимальная глубина – 100 -110 м (низовья Енисея).

6. 4. Продольный профиль реки

Продольный профиль характеризует изменение по длине реки отметок дна и водной поверхности. Строится обычно по данным наблюдений за уровнем в меженный период. Данные приводятся к одному мгновенному уровню (особенно тщательно в паводок).

Типы продольных профилей.

1. Профиль равновесия реки или вогнутый профиль характеризуется уменьшением уклона дна от истока к устью. Образуется в результате наступления равновесия между эрозией, транспортом и аккумуляцией наносов при стабильном базисе эрозии. (Хотя полного равновесия никогда не наблюдается).

2. Прямолинейный, наблюдается чаще у малых рек (степное Заволжье).

3. Выпуклый или сбросовый, характеризуется увеличением уклона дна от истока к устью. Встречается редко.

Иногда как отдельный выделяют ступенчатый профиль – с водопадами и порогами (в горах).

Определяющими тип продольного профиля причинами являются:

- топография (удаленность от базиса и разность высот устья и истока);
- литология (какими геологическими породами сложен водосбор);
- гидрологический режим территории (количество осадков, их распределение во времени, дружность паводков и пр.).

Перегибы продольного профиля обычно приурочены к местам впадения притоков (ниже их профиль, как правило, выполаживается), а также к местным базисам эрозии, в качестве которых могут быть главная река для притока, пороги, водопады, проточные озера, водохранилища и др. Уровень приемного водоема (океана, моря, бессточного озера), куда впадает река, называют общим базисом эрозии.

Для характеристики крутизны продольного профиля рек используют понятие уклон реки (отдельно для дна и водной поверхности). Уклон реки вычисляют по формуле:

$$I = \Delta H_i / L_i, \quad (37)$$

где ΔH_i - падение, L_i - длина реки на участке. Длину измеряют вдоль русла, и поэтому I представляет собой не тангенс, а синус угла наклона дна или водной поверхности к горизонту. Величина I для водной поверхности реки всегда положительна (исключения – лишь устья рек, подверженных действию приливов и нагонов), а для дна (в этом случае вместо I обычно пишут i_0) может на некоторых участках принимать и отрицательные значения, например в месте резкого уменьшения глубин на перекате. Уклон реки I – величина относительная, и ее выражают в долях единицы, %, ‰. Во многих случаях гидрологи используют также такое понятие, как падение на 1 км длины реки: величину падения уровня ΔH , выраженную в сантиметрах, делят на длину участка русла L_i в километрах. Эту величину называют километрическим падением.

6. 5. Поперечный профиль реки. Поперечная циркуляция

С извилистостью рек, поперечной циркуляцией воды, о которой мы будем говорить ниже, связано многообразие форм поперечных профилей рек. Форма поперечного профиля в большой мере зависит и от литологического состава прорезаемых рекой грунтов: чем более податливы размыву грунты, тем большее влияние на форму поперечного профиля оказывает поперечная циркуляция. На плесовых участках таких рек профиль дна ассиметричен – наибольшая глубина смещена ближе к вогнутому берегу.

В связи с подобным рельефом русла на изгибе потока возникает поперечная циркуляция воды в потоке.

Вследствие того, что центробежная сила прямо пропорциональна скорости течения воды, эпюра распределения центробежных сил по вертикали аналогична изменению скоростей, то есть у поверхности $f_{ц}$ имеет наибольшее значение, а по мере приближения ко дну убывает. Верхние слои воды, испытывающие большие центробежные силы, движутся в направлении их действия (в сторону вогнутого берега) и при этом вытесняют нижние слои воды, которые обладают меньшей центробежной силой; возникает замкнутое движение в поперечном сечении потока, называемое поперечной циркуляцией. Поперечная циркуляция, складываясь с поступательным (продольным) движением жидкости вдоль реки, придает потоку винтообразный характер.

Поперечная циркуляция усиливается или ослабляется отклоняющей силой вращения Земли (ускорение Кориолиса).

Под действием Кориолисова ускорения движущаяся масса воды отклоняется в северном полушарии вправо, а в южном – влево по направлению движения. Следовательно, если вогнутый берег в северном полушарии является правым по течению, то эта сила складывается с центробежной силой и наоборот.

На извилистых участках рек характер движения воды очень сложный и является до сих пор объектом изучения гидрологов и гидротехников.

В гидрометрии, как вы уже знаете, при оборудовании поста стараются подобрать прямой призматический участок русла реки с симметричным расположением глубин в поперечном сечении. В этом случае при вычислении живого сечения линию поверхности воды принимают горизонтальной, т.к. небольшой наклон этой линии не влияет на точность определения этих характеристик.

Вопросы для самоконтроля

1. Речная система.
2. Гидрографические характеристики речной системы.
3. водосбор реки.
4. Бассейн реки.
5. Физико-географические и морфометрические характеристики бассейна.
6. Долина реки.
7. Русло реки.
8. Классификация русел рек по форме.
9. Основные морфометрические характеристики речного русла.
10. Типы продольных профилей реки.
11. Поперечный профиль реки.
12. Поперечная циркуляция.

Список литературы

Основная

1. Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - ISBN 978-5-06-005815-4.
2. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.

3. Гидрометрия. Учебное пособие/ И. В. Кожемяченко, Ю. В. Бондаренко, О. В. Гуцол, О. Н. Жихарева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 160 с. - ISBN 978-5-7011-0603-9.

Дополнительная

1. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.

2. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004 г.

3. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения», Госстандарт СССР, М., 1988 г.

4. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.

5. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- <http://library.sgau.ru/>;

- dic.academic.ru;

- <http://ru.wikipedia.org>;

- <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 7

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

7. 1. Предмет и задачи гидрометрии

Гидрометрия является частью более обширной науки – гидрологии, изучающей гидросферу Земли, ее свойства и протекающие в ней процессы. Это обширный раздел естествознания.

Гидрометрия – раздел гидрологии суши, посвященный методам и приборам для определения характеристик водных и селевых потоков, а также их обработке.

Основными задачами гидрометрии, как следует из этого определения, являются:

1. Разработка методов и приборов для количественного определения и учета различных элементов режима водных объектов;
2. Систематическое изучение гидрологического режима водных объектов для получения многолетних характеристик уровней, стока воды и наносов, химического состава воды, температуры воды, ледовых явлений и др.

Исследование гидрологического режима необходимо для выполнения гидрологических и водохозяйственных расчетов при проектировании и строительстве, а также для научных выводов и обобщений в гидрологии.

Решение сложных вопросов планирования водного хозяйства, комплексного использования и охраны водных ресурсов, строительства крупных гидротехнических сооружений невозможно без достаточно длительного и всестороннего гидрометрического изучения водных объектов, намечаемых к использованию, без определения основных характеристик водных потоков.

Таковыми характеристиками являются уровни свободной поверхности, глубины, скорости и расходы воды, расход и сток наносов.

7. 2. Организация и методы гидрологических исследований

Гидрологическое изучение водных объектов - часть гидрометеорологических исследований, выполняемых на гидрологической сети. Гидрологическая сеть состоит из гидрологических станций и постов – пунктов стационарных гидрологических наблюдений. Общее руководство всеми гидрологическими исследованиями на территории России осуществляется Комитетом по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Роскомгидромет), а научно-методическое – Российским гидрологическим институтом (РГИ).

Современная гидрология располагает большим арсеналом методов изучения гидрологических процессов. Выделяют:

1. Методы полевых исследований, которые подразделяются на экспедиционные и стационарные. Первые заключаются в проведении кратковременных (от нескольких дней до нескольких месяцев) экспедиций на водных объектах. Вторые состоят в

проведении длительных (многолетних) наблюдений на специальных гидрологических станциях и постах. При гидрологических исследованиях часто оба метода используются вместе, взаимно дополняя друг друга.

Для наблюдения за гидрологическими характеристиками водных объектов применяют разнообразные измерители уровней и расходов воды, зонды, фиксирующие температуру и химические показатели воды, эхолоты и гидролокаторы с фиксацией результатов наблюдений на компьютере. Пространственная привязка результатов полевых работ все чаще осуществляется с помощью спутниковой навигации – GPS (global positioning system).

В последнее время стали широко применяться дистанционные методы наблюдений и измерений с помощью локаторов, аэрокосмические съемки и наблюдения, автономные регистрирующие системы (автоматические гидрологические посты и буйковые станции на реках и водохранилищах). Большие возможности дает использование авиации и космических аппаратов для наблюдений за состоянием водных объектов. Снимки со спутников позволяют вести наблюдения за замерзанием и вскрытием рек, разливами и наводнениями, ледяными заторами, обстановкой на водосборной площади рек, озер и водохранилищ. Будущее несомненно за полностью автономными автоматическими установками, ведущими наблюдения за режимом водных объектов и передающими по радио информацию в центры сбора и обработки информации.

2. Методы экспериментальных исследований. Различают эксперименты в лаборатории и эксперименты в природе. В первом случае на специальных лабораторных установках проводят эксперименты в условиях, полностью контролируемых экспериментатором (изучение режимов движения воды и наносов, размывов речного русла, гидрохимических процессов и т.д.) Во втором случае наблюдения проводят на небольших участках природных объектов, специально выбранных для детальных исследований (полигонах, опытных площадках, водосборах), где благодаря специальному подбору природных условий (характер почв, растительность, крутизна и экспозиция склонов и т.п.) и применению выверенных методов и приборов обеспечивается выполнение целей и задач эксперимента, трудно достижимых в естественных условиях.

3. Статистические методы, использующие современные приемы обработки данных наблюдений и математической статистики, позволяют установить связи между различными гидрологическими характеристиками или между ними и определяющими их факторами, а также оценить вероятность наступления того или иного гидрологического явления.

4. Теоретические методы используются на завершающем этапе исследований при теоретическом обобщении и анализе. В гидрологии они базируются на законах физики, с одной стороны, и на географических закономерностях изменений гидрологических характеристик - с другой. Среди этих методов на первый план вышли методы математического моделирования, системного анализа и гидролого-географических обобщений, включая геоинформационные технологии.

7. 3. Наблюдения за уровнями воды

Уровнем воды называют высоту положения свободной поверхности воды относительно постоянной горизонтальной плоскости отсчета. Уровни воды являются одной из главных характеристик открытых потоков. Расчетные значения уровней и

расходов определяют генеральные размеры проектируемых на водотоках сооружений. Уровни широко используются для построения и экстраполяции кривых расходов, площадей живых сечений и т. д.

Графики колебания уровня дают возможность судить о динамике гидрологических явлений и соответственно о многолетнем и внутригодовом распределении стока, в том числе в период паводков и половодий. По уровням накоплен наибольший объем наблюдений, в том числе наиболее длительные их ряды. Это объясняется простотой измерений при достаточно высокой точности.

Уровни подвержены колебаниям. Различают колебания уровней: многолетние, годовые, сезонные, и суточные.

Причины колебаний уровней могут быть различными. Например, многолетние могут быть вызваны климатическими изменениями, геологическими и эрозионными процессами. Годовые колебания зависят от водности того или иного года, т. е. метеорологических условий года. Сезонные колебания определяются географическим положением водосборного бассейна и связаны с сезонными изменениями осадков: весенним таянием снега или летним – ледников, муссонными периодами дождей и т. д. На малых водотоках таяние снега и ледников дает и суточные колебания уровней из-за соответствующих изменений температуры. Выпадение дождей также приводит к суточным и даже часовым колебаниям уровней на водотоках с малыми водосборными бассейнами.

Наблюдения за уровнями на водных объектах необходимы для наиболее рационального использования водных ресурсов в интересах всех участников водохозяйственного комплекса: гидроэнергетики, судоходства, рыбного хозяйства и др. Строительство мостов, плотин, ГЭС, различных береговых сооружений, а также ирригационных каналов, дорог и населенных пунктов вдоль русел рек не может быть рациональным без учета режима и возможных размеров колебаний уровня воды в реках в районе расположения сооружений. Например, при неучете гидрологических условий построенный мост может являться препятствием для судоходства на реке в период высокого стояния уровня или будет затопляться. Ирригационные каналы, выведенные из реки без достаточного изучения режима колебаний её уровня, могут в период межени оказаться без воды. Изучение колебаний уровней воды в реках имеет большое значение для судоходства.

В гидрометрии, как уже отмечалось выше, наблюдения за уровнями воды рек имеют особо важное значение для подсчета стока воды. В основу подсчета стока положена связь между высотой уровня и расходом воды в реке, устанавливаемая обычно эмпирическим путем. Измерение расхода воды – трудоемкая и достаточно длительная операция, в то время как измерение уровня выполняется легко и быстро, зачастую автоматически (в зависимости от вида поста).

Наблюдения за уровнями производят на водомерных постах – специальных устройствах для измерения уровней. Они делятся на постоянные – опорной сети управления гидрометеорологической службы (УГМС) – и временные – различных ведомств и организаций. Водомерные посты отличаются многообразием типов. Наиболее просты и в связи с этим имеют наибольшее распространение свайные и речные водомерные посты (простые водомерные посты). Широко используют мостовые, а также тросовые посты (передаточные). Запись изменений уровня во времени дают более сложные посты с самописцами уровня (самопишущие). В труднодоступных районах устанавливают дистанционные водомерные посты.

Водомерные посты состоят из приспособлений для измерения уровней и двух постоянных реперов, которые устраивают для контроля высотного положения водомерных устройств. Реперы устанавливают выше горизонта высоких вод.

Отсчет уровней на водомерном посту ведется от условной горизонтальной плоскости, называемой нулем графика и выбираемой не менее чем на 0,5 метра ниже наинизшего уровня воды, с тем, чтобы исключить отрицательные отсчеты уровня.

Описание водомерных постов довольно хорошо изложено во всех учебниках и вам необходимо самостоятельно с ними ознакомиться.

Следует только добавить, что основными сроками измерений уровней приняты 8 и 20 часов по местному времени. В периоды паводков вводят дополнительные наблюдения через равные промежутки времени (2, 4, 6 ч). При ясно выраженном неустановившемся движении уровня следует измерять через 10-30 мин.

Кроме определения высоты уровня воды на водомерных постах проводятся и другие наблюдения, состав которых определяется разрядом поста.

На всех гидрологических постах государственной сети проводятся наблюдения за следующими элементами: высотой уровня воды, температурой воды, толщиной льда, снега на льду и шуги, ледовым режимом, ветром, волнением, осадками, водной растительностью, изменением русла, началом и прекращением переправы по льду, сплавом, судоходством. Кроме того, отмечают события, оказывающие влияние на режим водного объекта, и, наконец, стихийные явления.

В состав наблюдений на постах 1-го разряда, кроме того, входит: измерение расходов воды, взятие проб воды на мутность, измерение высоты волн на озерах и водохранилищах, измерение осадков дождемерной установкой, измерение высоты и плотности снежного покрова и др. При значительной удаленности (> 50 км) от метеорологических станций организуются наблюдения за температурой воздуха.

Все эти показатели находят свое отражение в комплексном графике результатов гидрометеорологических наблюдений, который строят для контроля и анализа установленных значений уровня.

В целом, обработка данных наблюдений водомерных постов включает вычисление абсолютных отметок измеренных уровней, среднесуточных значений, составление таблицы «ежедневные уровни воды» (ЕУВ), публикуемых в гидрологических ежегодниках и построения графика колебаний уровня воды в течение года. На этом же графике условными обозначениями указывается изменение ледовой обстановки.

При эксплуатации рек (судоходство, сплав, орошение и др.), а также при проектировании гидротехнических сооружений строят графики повторяемости и продолжительности уровней.

При коротком ряде наблюдений (на временных постах) используя данные постоянного поста строят совмещенные графики колебаний двух водомерных постов.

Характерные уровни (Нв и Нн и др.) на обоих постах, вызванные одной причиной (например, паводком) называют соответственными. Они могут быть смещены относительно друг друга по времени.

По соответственным уровням строят график связи двух водомерных постов. Этот график дает возможность проектировщику установить интересные для него, не наблюдавшиеся уровни в створе будущего сооружения.

7. 4. Измерение глубин

Глубиной называют расстояние по вертикали от свободной поверхности воды до дна. В подавляющем большинстве случаев глубина практически равна расстоянию до дна по нормали к свободной поверхности.

Цель промерных работ – определить глубины и характер рельефа дна реки, озера, водохранилища. В результате промерных работ может быть вычислен объем содержащейся в водоеме воды.

Промерные работы удобнее проводить при низких (меженных) уровнях, когда обнажаются мели, косы, выступы скал и др. В этот период легче определить места с наименьшими глубинами, что важно для судоходства и лесосплава. Кроме того, объем промерных работ существенно сокращается.

Промерные работы можно проводить путем измерения глубин в отдельных точках или же путем непрерывной записи профиля дна. Зависит это от методов и применяемых приборов. Для измерения глубин применяют простейшие приспособления (наметка, лот ручной), механические приборы (лот механический) и ультразвуковые приборы – эхолоты (ИРЭЛ, ЭПО-10 и др.).

Описание этих приборов и способы выполнения этих работ детально рассмотрены в рекомендованной вам литературе.

Данные промеров используют в дальнейшем для: 1) построения поперечных профилей и вычисления морфометрических характеристик русла; 2) построения плана русла реки или ложа озера, водохранилища в горизонталях или изобатах; 3) составления продольного профиля участка реки; 4) вычисления морфометрических характеристик озера, водохранилища.

Если целью промеров было определение формы и размеров водного сечения, то профиль строят, откладывая по оси абсцисс номера точек, расстояния от постоянного начала до соответствующих точек, глубины в точках промера, отметки дна и указывая характер грунта, а по оси ординат – глубины в точках промера.

Для каждого профиля могут быть вычислены следующие морфометрические характеристики: 1) площадь водного сечения ω , м²; 2) ширина реки B , м; 3) длина смоченного периметра χ , м; 4) наибольшая глубина $h_{\max}$, м; 5) средняя глубина $h_{\text{ср}}$, м; 6) гидравлический радиус R , м.

Эти характеристики используются при вычислении расходов воды, построения зависимостей $Q=f(H)$, $\omega=f(H)$ и др.

Способы выполнения промерных работ.

1. Промеры по поперечным профилям:

- а) промеры с мостика и люльки (на малых реках);
- б) промеры с лодки по тросу (на реках шириной $B \leq 300$ м при скорости потока $V \leq 1,5$ м/с);
- в) промеры с засечками положения промерных точек на плане с берега одним или двумя угломерными инструментами (мензула, теодолит, тахеометр);
- г) промеры с засечками секстантом (с судна).

2. Промеры по косым галсам (на реках с течением $> 1,5$ м/с).

Лодка пересекает реку под углом $15-45^\circ$ (по косым галсам). Засечки положения промерных точек на воде производят с берега двумя угломерными инструментами.

3. Промеры по продольникам (при больших скоростях течения, когда лодку невозможно выдержать даже на косых галсах).

Засечки производят с берега двумя инструментами.

4. Промеры смешанными способами (при больших скоростях течения воды и сложном рельефе дна). Для большей детализации совмещают два способа, например, промеры по продольникам и косым галсам.

Вопросы для самоконтроля

1. Предмет и задачи гидрометрии.
2. Организация гидрологических исследований.
3. Методы полевых исследований.
4. Методы экспериментальных исследований.
5. Статистические методы.
6. Теоретические методы.
7. Наблюдения за уровнями воды.
8. Измерение глубин.
9. Способы выполнения промерных работ.

Список литературы

Основная

1. Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - **ISBN 978-5-06-005815-4**.
2. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - **ISBN 978-5-9999-0885-8**.
3. Гидрометрия. Учебное пособие/ И. В. Кожемяченко, Ю. В. Бондаренко, О. В. Гуцол, О. Н. Жихарева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 160 с. - **ISBN 978-5-7011-0603-9**.

Дополнительная

1. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.
2. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004 г.
3. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения», Госстандарт СССР, М., 1988 г.
4. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.
5. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - <http://library.sgau.ru/>;
 - dic.academic.ru;
 - <http://ru.wikipedia.org>;
 - <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 8

СКОРОСТЬ ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ

8. 1. Измерение скоростей течения воды

Измерение скоростей потоков обычно преследует две цели: вычисление по измеренным скоростям расхода воды и построение плана течения реки, т. е. векторного поля скоростей. Последнее используется для правильной компоновки сооружений мостовых переходов, выбора их размеров и очертаний, защиты от размыва, ледохода и т. д.

Известно, что в водотоках обычно наблюдается турбулентный режим течения воды, который характеризуется перемешиванием водных масс, вызывающим пульсацию скоростей течения, как по величине, так и по направлению. В связи с наличием пульсации скоростей в гидрометрии различают мгновенную скорость - скорость в данной точке в данное мгновение и осредненную местную скорость – скорость, осредненную за достаточно продолжительный период времени.

Существующие приборы и способы в подавляющем большинстве случаев ориентированы на определение местных осредненных скоростей U турбулентных потоков:

$$U = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} u dt, \quad (38)$$

где u – мгновенная местная скорость, м/с, T_0 – период осреднения, с, $u dt$ – площадь графика пульсации скоростей, м.

Продолжительностью периода осреднения зависит от степени турбулентности потока. Как известно из гидравлики, период осреднения выбирается так, чтобы любое его превышение не повлияло на значение осредненной скорости U в данной точке, т. е. $U_1=U_2=U_3\dots=\text{const}$.

В гидрометрии принято производить измерение скорости течения в точке в течение 100 секунд, что для большинства случаев оказывается достаточным, т.е. это время превышает период осреднения.

Если скорости известны в нескольких точках по глубине, то можно построить эпюру скоростей на вертикали. В зависимости от условий движения закон распределения скоростей по вертикали может быть различным. При равномерном и близком к нему движении безнапорного потока характерна эпюра с максимумом у свободной поверхности и минимумом у дна. Минимум у дна принимают за донную скорость U_d . Максимум у свободной поверхности называют поверхностной скоростью $U_{\text{пов}}$. При напорном движении (подо льдом) максимум скоростей смещается к центру живого сечения.

Эпюра скоростей в некоторых случаях может иметь и более сложный вид, например, при сгонно-нагонных явлениях течение слоев на разной глубине может иметь даже противоположное направление.

Площадь эпюры скоростей по вертикали $\int_0^h u dh$ дает удельный расход g , а частное от деления на глубину h – среднюю скорость на вертикали V_v :

$$V_v = \frac{1}{h} \int_0^h u dh. \quad (39)$$

Установлено, что при отсутствии искажений средняя скорость на вертикали открытого потока располагается на глубине от поверхности примерно $0,6h$.

Подобно эпюрам скоростей на вертикалях можно построить эпюру скоростей по ширине реки, например, поверхностных или средних скоростей на вертикалях. Очертания эпюры обычно следуют очертаниям дна. Представление о распределении скоростей в живом сечении дают линии равных скоростей – изотакхи, которые вычерчиваются по данным измерения скоростей в отдельных точках.

Методы измерения скоростей. Существует большое количество методов для измерения скоростей течения воды и приборов, действие которых основано на различных физических принципах.

1. Метод, основанный на регистрации числа оборотов лопастного винта (ротора). Наиболее распространенные приборы для измерения скорости течения – гидрометрические вертушки, на них мы остановимся ниже.

2. Метод, основанный на регистрации скорости плавущего тела. Для измерения скорости используются различного рода поплавки, которые могут запускаться как на поверхность потока, так и на требуемую глубину.

3. Метод, основанный на регистрации скоростного напора. Для измерения скорости используется гидрометрические трубки различной конструкции.

4. Метод, основанный на регистрации силового воздействия потока. Для измерения скорости используются приборы, в которых имеется чувствительный элемент, воспринимающий силовое воздействие потока. Они позволяют исследовать пульсацию скоростей.

5. Метод, основанный на принципе теплообмена. Скорость течения определяется в зависимости от быстроты охлаждения чувствительного нагреваемого элемента: чем больше скорость, тем выше темп охлаждения.

6. Метод, основанный на измерении объема воды, вошедшей в прибор за время наблюдений. Прибор – батометр.

7. Метод, основанный на применении ультразвука.

В настоящее время при гидрометрических работах измерение скоростей течения производится чаще всего гидрометрическими вертушками и поплавками. Остальные из указанных выше методов употребляются при проведении научно-исследовательских работ.

Гидрометрические вертушки. Посредством гидрометрических вертушек обычно определяется местная скорость течения в отдельных точках потока, хотя вертушки применяются и для интеграционного определения средней скорости на вертикали.

При измерении скорости регистрируется общее число оборотов лопастного винта и продолжительность измерения. Величина скорости определяется по тарифовочному (градуировочному) графику в зависимости от числа оборотов в секунду.

Имеется очень много различных типов и конструкций гидрометрических вертушек. Современные вертушки различаются по ряду признаков: направлению оси вращения; устройству лопастного винта или ротора (лопасти и чашки), устройству контактного и счетного механизмов (механические и электрические счетчики), способу опускания вертушки в воду (тросовые и штанговые) и пр.

Гидрометрическая вертушка состоит из следующих основных частей: 1) ходовой части с лопастным винтом и контактным механизмом; 2) корпуса вертушки; 3) стабилизатора направления; 4) сигнального устройства.

Замыкание контактов происходит при вращении лопастного винта через определенное число оборотов. Сигнальное устройство служит для передачи сигналов при замыкании контактов вертушки. Применяется звуковая сигнализация посредством звонка и световая – посредством лампочки.

Наиболее распространены вертушки ГР-21 и ГР-21М, которые характеризуются большой добротностью и износоустойчивостью. Оптимальные условия их применения – равнинные реки (т.к. их винты имеют большие моменты инерции). В потоках с большой турбулентностью применяют вертушки ГР-55 и ГР-99.

Для установки вертушки в потоке на нужной глубине применяют штанги и тросы. Длина штанги – 3 м.

Время выдержки вертушки в каждой точке, как уже отмечалось, не менее 100 сек. Число оборотов вертушки между звуковыми сигналами, как правило, $n = 20$. При больших скоростях отсчеты берут через 2-5 сигналов. Число сигналов, и, следовательно, соответствующее им количество оборотов лопастного винта между записями времени называется приемом. Число приемов сигналов принимают четным (см. табл. 8. 1. 1).

Таблица 2. Пример расчета

№ приема	1	2	3	4	5	6	7	8
T, с	16	33	48	63	81	96	112	128

Контроль. Для контроля сравнивают удвоенное время первой половины приемов (у нас приемов 4, а $T=63$ с, $63 \times 2 = 126$ с) с временем последнего приема (128 с), расхождение допускается не более 5 с (в нашем случае 2 с). Если расхождение > 5 с, измерения дополняют еще 2-бью приемами.

Официальным документом вертушки является тарировочная кривая. Нижняя часть её, соответствующая малым скоростям, вычерчивается в более крупном масштабе. Тарирование проводят в неподвижной воде специальных тарировочных каналов на тарировочных станциях.

Для полевых условий составляют специальную таблицу на основе тарировочной кривой (см. табл. 8. 1. 2).

Таблица 3. Пример тарировочной таблицы

Число оборотов в секунду	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	...	0,09
0,2	0,065	0,067	...	...	0,074	...	...	...
0,3	0,087	...	0,096					0,113

0,4	...							
-----	-----	--	--	--	--	--	--	--

8. 2. Измерение расходов воды

Расходом воды Q называется объем её, протекающий через поперечное сечение потока в единицу времени. Выражается в $\text{м}^3/\text{с}$ или $\text{л}/\text{с}$.

Расход воды является одним из основных гидравлических элементов потока, определяющим остальные параметры рек (H , ω , v , I и др.)

Существуют 2 группы методов определения расхода воды: непосредственное измерение (объемный метод) и косвенное, при котором расход получается через другие характеристики потока.

Объемный метод довольно точен и применяется при малых расходах путем наполнения мерного сосуда с измерением времени наполнения.

Косвенные методы:

1) метод «скорость-площадь» - определение расхода по измеренным скоростям течения и площади поперечного сечения потока;

2) определение расходов воды с помощью мерных устройств: гидрометрических лотков, водосливов (через напор по гидравлическим зависимостям);

3) определение расходов методом смешения (электролитический – по изменению электропроводности и др.)

Наиболее распространен метод «скорость-площадь», сущность которого заключается в определении объема модели расхода.

Известно, что скорости течения в различных точках поперечного сечения открытого потока неодинаковы: наибольшие они у поверхности в середине потока, а по мере приближения к берегам и дну они уменьшаются за счет увеличения шероховатости и силы трения. Если векторное поле скоростей в потоке представить в виде перпендикуляров к площади живого сечения в каждой точке сечения длиной, равной скорости в точке, то фигура, образованная плоскостью, проходящей через концы векторов, и площадью живого сечения и является моделью расхода, а объем ее численно равен расходу Q .

Свойства модели расхода. Если модель расхода рассечь плоскостями, параллельными поверхности воды, то площади сечений будут представлять собой эпюры распределения скоростей течения по ширине реки на соответствующих глубинах, а расход численно равен:

$$Q = \int_0^{\omega} u d\omega, \quad (40)$$

где u – скорость, $\text{м}/\text{с}$.

Если рассечь модель расхода вертикальными плоскостями, перпендикулярными плоскости живого сечения, то площади сечения будут представлять собой эпюры распределения скоростей на вертикалях. Тогда,

$$Q = \int_0^B q db, \quad (41)$$

где q - расход на вертикали (первая производная расхода по ширине потока, т. е. (dQ/db) , m^2/c

Если рассечь модель расхода вертикальными плоскостями, параллельными плоскости живого сечения, то линии пересечения будут представлять собой линии равных скоростей, т. е. изотакхи, а расход определяется по выражению:

$$Q = \int_0^{U_{\max}} \omega_u du, \quad (42)$$

где ω_u – площади живого сечения, ограниченные изотакхами, m^2 ; du – интервал скорости между изотакхами, m/c .

Применяемые способы вычисления расхода воды основываются на приближенных решениях выше приведенных формул.

Первая из этих формул выражает аналитический способ, вторая - графический и третья - способ вычисления расхода по изотакхам.

1) Аналитический способ.

Основное уравнение, применяемое при этом способе, выглядит в виде многочлена:

$$Q = k u_1 \omega_1 + \frac{u_1 + u_2}{2} \omega_2 + \dots + \frac{u_{n-1} + u_n}{2} \omega_n + k u_n \omega_{n-1}, \quad (43)$$

где k - коэффициент для скоростей на прибрежных вертикалях, принимаемый равным 0,7 при пологом берегу, 0,8 при обрывистом берегу, 0,9 при гладкой бетонной стенке.

2) Графический способ.

В этом способе интегрирование заменяется измерением площади эпюры элементарных расходов планиметром или палеткой.

Элементарный расход при этом определяется по уравнению:

$$q = \int_0^h u dh, \quad (44)$$

где q –элементарный расход, m^2/c ; u – средняя скорость на вертикали, m/c , h – глубина на вертикали, m .

Графически элементарный расход представляет собой площадь эпюры скоростей на вертикали.

Последовательность работы:

1). На листе миллиметровки вычерчивают профиль поперечного сечения реки и наносят расчетный уровень H_p ;

2). На том же листе вычерчивают эпюры скоростей для каждой вертикали в том же масштабе;

3). Вычисляют средние скорости течения u на вертикалях делением площади эпюры скоростей на рабочую глубину вертикали (площади эпюр определяют планиметром);

4). Строят эпюру средних скоростей, для чего над профилем по линиям соответствующих скоростных вертикалей откладывают от линии уровня воды значения средних скоростей;

5). Строят эпюру элементарных расходов q (последние получаются умножением средних скоростей u на глубины h на вертикали);

6). Вычисляют по площади эпюры q расход воды в створе Q .

3) Способ вычисления расхода воды по изотаксам.

Для графического решения интеграла $Q = \int_0^{U_{\max}} \omega_u du$ на профиле живого сечения строят изотаксы, затем планиметрированием определяют площади, ограниченные изотаксами ω_u .

Аналитически расход вычисляется по уравнению, представленному многочленом:

$$Q = \frac{\omega_0 + \omega_1}{2} a + \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} a + \dots + Q_k, \quad (45)$$

где a - интервал скорости между изотаксами, м/с;

$$Q_k = 2/3 \omega_n (u_{\max} - u_n). \quad (46)$$

4) Расчетный (гидравлично-гидрометрический) способ определения расходов.

При определении расхода, численно равного $Q = \omega u$, площадь живого сечения ω определяется по поперечному профилю, построенному по данным измерений, а u - по формуле Шези:

$$u = C \sqrt{RI}, \quad (47)$$

где C - коэффициент Шези, определяемый в зависимости от гидравлического радиуса R и коэффициента шероховатости русла n ; I - продольный уклон русла.

8. 3. Определение зависимости между расходами и уровнями воды

Зависимость между расходами и уровнями выражается графически кривой расходов, которая строится для определения стока воды.

В гидрометрии принято определять зависимость расходов от уровней, хотя физически независимым переменным является расход воды, а уровень - функцией. Так принято потому, что измерения уровней на гидрологических постах производится ежедневно в стандартные сроки, а измерения расходов, вследствие большой трудоемкости, делаются значительно реже.

Для построения кривой расходов в координатной системе (Q , H) наносят на график точки измеренных расходов, которые обычно располагают узкой полосой. Кривую расходов проводят на глаз плавной линией посередине полосы рассеивания точек расходов.

На том же чертеже строят кривые площадей живого сечения $\omega=f(H)$ и средних скоростей $u=f(H)$, которые необходимы для экстраполяции кривой расходов и для анализа надежности измеренных расходов; все три кривые должны быть увязаны

между собой по уравнению $Q=u\omega$. Сверка производится при определенных значениях уровня H через равные интервалы путем умножения соответствующих значений ω на u . При этом руководствуются правилом, что если полученный расход отличается от снятого с кривой $Q = f(H)$, больше чем на 2%, то надо выяснить причины этого и внести исправления. После сверки и исправления кривые обводят тушью. Затем, пользуясь построенной кривой расходов, составляют расчетную таблицу расходов (8. 3. 1). Промежуточные значения уровней вычисляют интерполяцией.

Таблица 4. Расчетная таблица расходов

Уровень над нулем графика, см.	Расход, м ³ /с									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	20	20,5	21							24,5
20	25									

Значения средних суточных расходов воды, вычисленные по средним суточным уровням, записывают в таблицу «Ежедневные расходы воды» (ЕРВ). Таблицы ЕРВ публикуются в гидрологических ежегодниках (с указанием расходов за сутки, декады, месяцы, год).

8. 4. Измерение расходов воды на гидромелиоративных системах

Гидрометрические работы, выполняемые на гидромелиоративных системах, относятся к эксплуатационной гидрометрии.

Эти работы включают наблюдения за режимом источников орошения (реками, озерами), учет воды на водозаборе, в самой системе и на выходе из нее.

Различают следующие группы постов:

1. Опорные посты. Располагаются на водоисточнике выше водозаборного узла и служат для наблюдений за режимом источника орошения.

2. Головные посты. Размещаются на головных участках магистральных каналов для учета поступающей в гидромелиоративную систему воды.

3. Балансовые посты. Устраиваются на границе административных районов и на водоисточнике ниже впадения сбросных каналов и служат для составления баланса воды как для крупных каналов, районов, так и системы в целом.

4. Водораспределительные посты. Устраиваются в головах распределительных каналов и на водовыпусках для учета воды, используемой отдельными хозяйствами.

Методы учета воды: русловой, градуирования ГТС, метод специальных сооружений (водосливы, водомерные пороги САНИИРИ и др.)

Вопросы для самоконтроля

1. Распределение скоростей в потоке.
2. Средняя скорость потока и ее зависимость от уровня воды.
3. Методы измерения скоростей.
4. Измерение расходов воды.
5. Косвенные методы измерения расходов воды.
6. Определение зависимости между расходами и уровнями воды.
7. Измерение расходов воды на гидромелиоративных системах.

Список литературы

Основная

1. Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - **ISBN** 978-5-06-005815-4.
2. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - **ISBN** 978-5-9999-0885-8.
3. Гидрометрия. Учебное пособие/ И. В. Кожемяченко, Ю. В. Бондаренко, О. В. Гуцол, О. Н. Жихарева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 160 с. - **ISBN** 978-5-7011-0603-9.

Дополнительная

1. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.
2. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004 г.
3. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения», Госстандарт СССР, М., 1988 г.
4. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.
5. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - <http://library.sgau.ru/>;
 - dic.academic.ru;
 - <http://ru.wikipedia.org>;
 - <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 9

ВОДНАЯ ЭРОЗИЯ, РЕЧНЫЕ НАНОСЫ, РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

9. 1. Водная эрозия

Поступление наносов в реку определяется эрозией, т.е. смывом твердых частиц с поверхности водосбора и размывом русла. Стекающие со склонов водосбора струи воды, вызванные весенним снеготаянием и летними дождями, увлекают не только мелкие твердые и разрыхленные частицы грунта, но и приводят в движение более крупный материал, а также разрушают земную поверхность, образуя промоины.

Продукты размыва сносятся водами с повышенных мест в более низкие, большая часть их задерживается на поверхности водосбора, заполняя его углубления, и только небольшая часть попадает в реки.

Кроме наносов, поступающих в реку со склонов водосбора и являющихся основным источником формирования речных наносов, происходит также размыв русла реки, особенно если поток обладает значительными уклонами и скоростями и протекает в легкоразмываемых берегах. Ледоходы и образующиеся при ледоходах заторы льда также в значительной мере способствуют русловой эрозии. Поступление наносов в русло главной реки происходит также за счет приноса их притоками, за счет подмыва и обрушения склонов долин и выноса продуктов смыва и размыва из оврагов.

Количество поступающих в реку наносов зависит от многих факторов. Чем больше изрезан рельеф водосбора и больше уклон реки, тем обычно больше и количество наносов в ее воде. На поверхности водосбора степень эрозии зависит от сопротивляемости размыву почв и грунтов.

Наличие растительности в бассейне реки уменьшает смыв твердых частиц грунта. Лес и кустарник, удлиняя процесс и снижая интенсивность снеготаяния, уменьшают скорости, расходы и транспортирующую способность поверхностных вод на склонах и, кроме того, своими корнями предохраняют почвы от смыва и размыва. Таким образом, чем богаче растительность в бассейне, тем меньше мутность реки.

Метеорологические факторы – осадки, температура и влажность воздуха, ветер – также оказывают влияние на процесс водной эрозии, т.к. под их влиянием изменяется не только количество стекающей воды, но и эрозионная устойчивость почв.

9. 2. Речные наносы: виды, порядок расчета

Речными наносами называются твердые частицы, которые переносятся потоком и формируют русловые и пойменные отложения рек.

Количество переносимых рекой наносов в течение некоторого периода времени (сутки, месяц, год) называется твердым стоком реки, который выражают в кг или тоннах.

Количество наносов, переносимых рекой в единицу времени через живое сечение реки, называют твердым расходом кг/сек.

Изучение твердого стока (стока наносов) рек имеет большое практическое значение, особенно при решении целого ряда водохозяйственных задач с участием различных гидротехнических сооружений.

Особо важное значение имеет количественный учет наносов при расчетах заиления водохранилищ, при решении вопросов рационального размещения и проектирования водозаборных сооружений и каналов, отводящих воду из реки на нужды орошения и водоснабжения.

В зависимости от характера транспортирования водами рек выделяют две категории наносов: взвешенные, распределенные по всему живому сечению потока и донные, перемещаемые в придонном слое.

Взвешенные наносы распределяются в толще потока весьма неравномерно. Наиболее крупные движутся в нижних слоях, наиболее мелкие распределяются по всей глубине, однако количество их уменьшается от дна к поверхности.

Сток наносов определяется преимущественно взвешенными наносами.

Донные наносы составляют лишь незначительную часть твердого стока, обычно не более 5-10%.

Взвешивание твердых частиц с удельным весом больше удельного веса воды объясняется наличием вертикальных составляющих скоростей при турбулентном движении воды в речном потоке.

На твердые частицы, находящиеся во взвешенном состоянии в турбулентном потоке, будут действовать две силы:

- 1) скорость струи потока - v , направленная под некоторым углом вверх;
- 2) вес частицы - P , направленный вниз.

Под влиянием этих двух сил частица будет двигаться по направлению какой-то равнодействующей R (рис. 9. 2. 1. а).



Рис. 1. Силы, действующие на твердые частицы в потоке.

Разложим равнодействующую R на две силы: v_v – вертикальную и v_h – горизонтальную (рис. 9. 2. 1 б)

Вертикальная сила является силой, поддерживающей твердую частицу во взвешенном состоянии. Она составляет $1/12 - 1/20$ от горизонтальной силы и достигает максимума у дна и минимума у поверхности. Величина вертикальной составляющей скорости возрастает с увеличением средней скорости потока. Для оценки ее величины рассмотрим процесс падения частиц в стоячей воде.

Твердая частица, попавшая в спокойную воду, через некоторое время (2- 3 секунды или даже более секунды) будет падать равномерно, что объясняется равенством силы тяжести частицы и силы сопротивления ее движению.

Эта равномерная скорость падения частицы в спокойной воде при 15⁰С называется гидравлическим размером или гидравлической крупностью (w , мм/с). Гидравлическая крупность зависит от диаметра и плотности частиц, а также от плотности воды. Для взвешивания твердой частицы, попавшей в турбулентный поток, необходимо, чтобы величина вертикальной составляющей скорости потока v_v была больше или равна гидравлической крупности этой частицы, т.е. $v_v \geq w$.

При $v_v < w$ частицы оседают на дно.

На взвешивание мелких илистых наносов (меньше 0,001мм) при малых скоростях течения, кроме вертикальной составляющей скорости, влияет также наэлектризованность частиц, приобретаемая ими при трении жидкости. Заряженные одноименным электричеством частички приобретают способность отталкиваться друг от друга и переходить во взвешенное состояние.

Распределение взвешенных наносов. Для характеристики содержания взвешенных наносов в воде и для сравнения их количества по различным рекам удобно выражать содержание наносов в виде отношения твердого расхода (R , кг/с) к расходу воды (Q , м³/с), которое носит название мутности (s , г/м³), т. е.

$$s=1000R/Q. \quad (48)$$

По данным Г. И. Шамова среднегодовое количество взвешенных наносов некоторых рек СССР характеризуется следующими величинами (табл. 9. 2. 1):

Таблица 5. Среднегодовое количество взвешенных наносов рек СССР (по данным Г. И. Шамова)

Река	Площадь, км ²	Расход, кг/с	Мутность, г/м ³	Сток, млн. т.
Волга у г. Дубовка	1351000	810	105	25,5
Днепр у г. Киев	327700	58	42	1,8
Енисей с. Игарка	2472000	333	18,8	10,8
Аму-Дарья г. Керпи	226800	6900	3500	217

Распределение наносов по живому сечению реки имеет неравномерный характер: причем наибольшая мутность наблюдается у дна и берегов за счет взвешенных частиц более крупных размеров. Чем больше в составе наносов крупных частиц, тем неравномернее они распределены по вертикали. В том случае, когда материал наносов состоит из мелких фракций, наблюдается наиболее равномерное распределение фракций по глубине. Количество наносов обычно возрастает от истока к устью.

Наибольшая мутность рек равнинных районов наблюдается во время весеннего половодья. Взвешенные наносы в условиях равнинных рек достигают 90 - 98% общего количества.

На горных реках количество влекомых наносов может превышать взвешенные. На реках с зарегулированным стоком (водохранилища), сток взвешенных наносов резко уменьшается и делается более равномерным в течение года.

Установление нормы стока взвешенных наносов производится различными способами в зависимости от степени изученности реки в отношении стока наносов. При

наличии длительного ряда наблюдений по стоку взвешенных наносов (не менее 20 лет) норма стока наносов определяется аналогично вычислению нормы жидкого стока.

При более коротком ряде используется связь:

$$R_o = Q_o R_{cp} / Q_{cp}, \quad (49)$$

где, Q_o -норма расхода воды; Q_{cp} и R_{cp} – средние расходы воды и наносов за ограниченный период наблюдений.

Сток взвешенных наносов заданной обеспеченности вычисляется в следующем порядке. С эмпирической кривой обеспеченности годового стока наносов снимают значения R_n 5, 50, 90% обеспеченности и вычисляют коэффициент скошенности кривой:

$$S = R_{.5\%} + R_{.95\%} - 2R_{.50\%} / R_{.5\%} - R_{.95\%}. \quad (50)$$

Коэффициент вариации равен:

$$C_{vh} = y_n / R_o, \quad (51)$$

где

$$y_n = R_{5\%} - R_{95\%} / \Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}. \quad (52)$$

Средний многолетний расход взвешенных наносов (норма) равен:

$$R_o = R_{50\%} - y_n \Phi_{50\%}. \quad (53)$$

Годовые расходы взвешенных наносов заданной обеспеченности равны:

$$R_{p\%} = R_{50\%} - y_n \Phi_{(p.s)}. \quad (54)$$

В практике гидрологических расчетов чаще приходится иметь дело с короткими рядами наблюдений. В этом случае пользуются построением графической связи между средне годовыми расходами воды Q_{cp} и наносов R_{cp} .

В случае прямолинейной связи норма стока взвешенных наносов определяется по среднему многолетнему расходу воды.

При очень коротком ряде наблюдений (1-2 года) норма стока взвешенных наносов может быть определена по соотношению, где годовая величина взвешенных наносов прямо пропорциональна годовому стоку воды, т. е.

$$R_i / Q_i = R_o / Q_o, \quad (55)$$

откуда

$$R_o = Q_o / Q_i R_i, \quad (56)$$

где; Q_i и R_i - сток воды и наносов за наблюдаемые годы; Q_o - норма стока.

Второй способ возможен в том случае, если имеется ряд наблюдений за стоком воды, позволяющим вычесть C_v , и наблюдения за стоком взвешенных наносов за 1-2 года.

Допуская, что сток воды и сток взвешенных наносов имеют одну и ту же обеспеченность, зная C_v воды, определяют C_{vh} взвешенных наносов:

для равнинных рек $C_{vh}=1.61C_v$;

для горных рек $C_{vh}=3,45C_v$;

для рек промежуточного типа $C_{vh}=2.22C_v$.

При отсутствии гидрометрических данных следует пользоваться Картой средней мутности рек и Картой модуля стока взвешенных наносов рек.

Влекомые (донные) наносы. Количество и крупность влекомых наносов, перемещаемых реками, определяются гидравлическими условиями режима рек и зависят от физико - географических характеристик их бассейнов. В основном характер движения донных наносов определяется их крупностью и величиной скорости течения.

Донные наносы обычно передвигаются не по всей ширине русла, а лишь по ее части, называемой действующей шириной, зависящей от водности реки, и проходящей у выпуклых берегов и по участкам сопряжения излучин.

Скорости, при которых частицы определенных размеров начинают двигаться и начинается размыв дна не одинаковы: чем больше глубина, тем при больших скоростях начинают передвигаться донные наносы. Из этого следует, что чем меньше глубина потока, тем при меньших скоростях происходит размыв донных отложений в потоке, чем мельче наносы, тем меньшие скорости течения их могут переносить.

Для характеристики движения твердых частиц по дну потока, которое обуславливается величиной скорости и размерами частиц, установлена определенная зависимость между весом частиц, влекомых по дну, и скоростью, при которой они движутся. Эта зависимость может быть выражена формулой ЭРИ:

$$P=A v, \quad (57)$$

где P - вес частицы; A - коэффициент, зависящий от формы удельного веса частицы; v - скорость, при которой частицы начинают двигаться.

По формуле Эри веса влекомых частиц прямо пропорциональны шестой степени скоростей течения v .

Исследования Великанова по определению связи между потоком и диаметром частицы, находящейся в движении под действием этой скорости, позволили ему составить следующую зависимость:

$$v^2/gd=15+6/d; \quad (58)$$

$$v=\sqrt{g(15d+0.006)}, \quad (59)$$

где v - средняя скорость потока, м/с; g - ускорение силы тяжести, $9,81 \text{ м/с}^2$; d - диаметр частицы, мм.

Формула Великанова применима при $d= 0,1\text{-}5\text{мм}$, а для частиц $d>5\text{мм}$ дает преувеличение значения предельной скорости.

При расчетах твердого стока величину среднего стока влекомых наносов часто принимают в долях от величины среднего стока взвешенных наносов.

Средняя многолетняя величина стока влекомых наносов:

$$W_T = K R_0, \quad (60)$$

где R_0 - взвешенные наносы; K - коэффициент, применяемый для равнинных рек 0,05-0,1, для горных рек - 0,10- 0,50.

Для расчета расхода влекомых наносов Г.И. Шамо́в вывел следующую зависимость:

$$R_3 = k (v/v_{нп})^3 (v - v_{нп})(d_0/h_{ф})^{1/4} B, \quad (61)$$

где R_3 - расход влекомых наносов; v - ср. скорость поток, м/с, $v_{нп}$ - ср. неподвижная скорость (она меньше размывающей скорости):

$$v_{нп} = 3,7 d_0^{1/3} h_{ср.}^{1/6}, \quad (62)$$

где d_0 - ср. взвешенный диаметр частиц донных отложений, м; B - ширина потока; k - коэффициент, учитывающий не однородность состава влекомых наносов ($k=0,95\sqrt{d_0}$).

Селевые потоки. Сель – кратковременный мощный паводок на горных реках с очень большим (до 75% общей массы потока) содержанием минеральных частиц и обломков горных пород, возникающий в результате интенсивных ливней или бурного снеготаяния в условиях накопления большого количества продуктов выветривания и значительных уклонов.

Селевые потоки состоят из жидкой части (грязевая масса) и твердой (щебень, гравий, крупные камни, обломки скал).

Основным селеобразующим фактором для водосбора горной реки является способность горных пород, слагающих его склоны, к выветриванию, эрозии и образованию на склонах и в руслах рек большого количества обломочного материала. Другими факторами являются: 1) крутизна склона; 2) густота речной сети, площадь и форма бассейна; 3) длина русла; 4) растительный покров и другие.

9. 3. Русловые процессы

Изменение морфологического строения русла ведется под действием текущей воды и называется русловым процессом. Русловый процесс – это постоянно происходящие изменения форм речного русла и русловых образований под действием текущей воды. Степень воздействия русла на поток и потока на русло зависит от устойчивости твердой среды и скоростного режима потока. При подвижных малоустойчивых грунтах и быстром течении влияние потока на русло значительно сильнее, чем русла на поток. В таких реках наблюдается ярко выраженный процесс взаимодействия между жидкой средой и твердой. Устойчивость таких рек очень мала.

У рек с устойчивыми, трудно размываемыми грунтами русла русловый процесс протекает медленно и создаваемые в ходе этого процесса русловые формы будут четко выражены и относительно стабильны.

В формировании русел рек и каналов с земляными руслами есть много общего, но есть и существенные различия. Каналы являются инженерными сооружениями, запроектированными на пропуск регулируемых расходов воды с заданной амплитудой. В реках амплитуда расходов воды неизмеримо больше, чем в каналах. Сочетание этого с наличием поймы реки и обуславливает главное различие в формировании русел рек и каналов. В каналах русловый процесс протекает менее активно и не все типы русловых образований могут проявляться. Внешнее питание каналов ограничено или совсем отсутствует. Каналы имеют более устойчивое русло, чем реки.

Устойчивость русла можно охарактеризовать количественно через факторы, способствующие и препятствующие размыву. Одним из таких показателей является коэффициент устойчивости русла В. М. Лохтина:

$$K_{\text{л}} = D / \Delta H \quad (63)$$

где D – крупность донных наносов, мм; ΔH – километрическое падение уровня, м / км. Следовательно, увеличению устойчивости русел способствует повышение крупности частиц наносов и уменьшение скоростей течения, косвенной характеристикой которых служит величина падения. Устойчивые русла, по Лохтину, в которых отсутствует постоянное движение наносов, имеют $K_{\text{л}}$ более 15 – 20, у относительно устойчивых русел с постоянным перемещением влекомых наносов $K_{\text{л}} \approx 5$ и, наконец, у неустойчивых с весьма подвижным дном русел $K_{\text{л}}$ менее 2.

Устойчивые русла характерны для верховий рек, берущих свое начало в предгорных и горных районах (Алдан, Лена, Енисей, Белая, реки Северного Кавказа). Наименее устойчивы речные русла, сложенные мелкопесчаным материалом (реки Средней Азии).

Большой интерес представляет морфологическое соотношение между шириной и глубиной потока. Ширина реки B во много раз превышает глубину h , т.к. боковая эрозия (размыв берегов) отличается большей свободой своего динамического развития, чем глубинная эрозия. При этом для песчаных грунтов соотношение B/h больше, чем для глинистых.

Следовательно, в несвязных грунтах формируются более широкие водотоки, чем в связных. Это одно из важных положений гидроморфологии. Когда поток и русло взаимодействуют как саморегулирующая система без существенных русловых деформаций в течение длительного времени, считается, что русло находится в динамическом равновесии. Такие русла называются также равновесными – размеры русла и его положение в плане изменяются в небольших пределах при наличии транспорта наносов.

Вопросы для самоконтроля

1. Водная эрозия.
2. Речные наносы.
3. Виды речных наносов в зависимости от характера их транспортировки водами рек.
4. Распределение взвешенных наносов.
5. Порядок расчета взвешенных наносов.
6. Влекомые (донные) наносы.
7. Селевые потоки.
8. Русловые процессы.

Список литературы

Основная

1. Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - ISBN 978-5-06-005815-4.

2. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - **ISBN** 978-5-9999-0885-8.

3. Гидрометрия. Учебное пособие/ И. В. Кожемяченко, Ю. В. Бондаренко, О. В. Гуцол, О. Н. Жихарева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 160 с. - **ISBN** 978-5-7011-0603-9.

Дополнительная

1. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.

2. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004 г.

3. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения», Госстандарт СССР, М., 1988 г.

4. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.

5. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- <http://library.sgau.ru/>;

- dic.academic.ru;

- <http://ru.wikipedia.org>;

- <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 10

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И СТОХАСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ. ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ

10. 1. Общие сведения о гидрологических расчетах

Основная цель инженерной гидрологии – обеспечение народного хозяйства надежной гидрологической информацией, а главная задача – определение гидрологических характеристик, количественно описывающих гидрологический режим рек.

Гидрологические характеристики, необходимые для водохозяйственного проектирования и обеспечения надежной эксплуатации гидротехнических сооружений и их комплексов, инженерно – мелиоративных и инженерно – экологических систем, а также систем водоснабжения, являются расчетными.

К ним относятся: среднегодовой, максимальный и минимальный сток воды, распределение стока внутри года, расход и сток наносов.

Методы, используемые при гидрологических исследованиях и расчетах речного стока, подразделяются на:

1. Генетические, основу которых составляет изучение зависимостей между стоком и факторами, определяющими его формирование, качественные и количественные характеристики;

2. Статистические, рассматривающие гидрологические процессы как случайные (стохастические) и опирающиеся на математическую статистику и теорию вероятностей.

Совершенствование гидрологических расчетов, повышение их точности и обоснованности возможно лишь на основе систематических наблюдений на гидрологических станциях и постах, сочетания статистических и генетических методов, физического и математического моделирования, системных обобщений и научного анализа всего спектра получаемых данных.

Основной источник сведений о стоке – непосредственные наблюдения за гидрологическим режимом водных объектов, элементами водного баланса, стокоформирующими факторами, которые систематически осуществляются на государственной сети гидрологических и региональных водно-балансовых станций и в обобщенном виде публикуются в материалах государственного водного кадастра (ГВК).

При определении расчетных гидрологических характеристик в зависимости от полноты исходной информации могут встречаться три случая:

- материалы продолжительных гидрометрических наблюдений имеются;

- их недостаточно;
- отсутствуют полностью.

Методы определения расчетных гидрологических характеристик в каждом из указанных случаев регламентированы сводом правил СП 33-101-2003 и должны осуществляться в строгом соответствии с этим нормативным документом.

10. 2. Норма годового стока

Количество воды, стекающее с водосборной площади бассейна за год, называют годовым стоком.

В зависимости от климатических и физико-географических факторов годовой сток непрерывно изменяется. Колебания эти носят циклический характер, заключающийся в последовательной смене много- и маловодных лет. Однако при достаточно длинном гидрологическом ряде среднее значение годового стока практически не меняется.

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

Норма годового стока - одна из важнейших расчетных характеристик, используемых в проектировании.

10. 2. 1. Вычисление нормы годового стока при наличии гидрометрических данных

При наличии наблюдений норму стока определяют как среднеарифметическое значение одной из гидрологических характеристик:

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{n}; \quad \bar{q} = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{n}; \quad \bar{W} = \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{n}; \quad \bar{h} = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{n}; \quad (64)$$

Среднее арифметическое является нормой стока при соблюдении ряда условий:

- гидрологический ряд однороден;
- период наблюдений репрезентативен (представителен);
- ряд наблюдений достаточен.

Оценка однородности осуществляется для выяснения фазовой стабильности величин, составляющих ряд, т.к. внутрирядную однородность данных наблюдений могут существенно нарушить антропогенные изменения естественных условий формирования стока (распашка целины, вырубка леса, строительство водохранилищ и т. п.).

В начале оценку однородности рядов проводят на основе генетического анализа условий формирования стока с учетом деятельности человека на водосборе. Если на основе такого качественного анализа установлено, что однородность гидрологических характеристик существенно не нарушена, то ряд признается однородным, а первое условие выполненным.

В тех случаях, когда информации по генезису формирования стока недостаточно, либо при значительных изменениях хозяйственной деятельности в бассейне реки, повлекшей изменение условий формирования стока, используют статистические методы оценки однородности рядов.

Для этого обычно проводят оценку расхождений между численными значениями их среднеарифметических $\bar{Q}$ и дисперсий (квадратов среднеквадратических отклонений) σ^2 .

Для оценки однородности средних значений обычно используют t-критерий Стьюдента, а для оценки однородности дисперсий – F- критерий Фишера.

Репрезентативность периода наблюдений оценивают с помощью сокращенной суммарной кривой стока, которую строят по зависимости:

$$\sum(K_i - 1) = f(T) \quad (65)$$

где $K_i = Q_i / \bar{Q}$ - модульный коэффициент стока.

Для построения такой кривой последовательно суммируют отклонения модульных коэффициентов от среднего значения $K = 1$, откладывая затем по оси ординат $\sum(K - 1)$, а по оси абсцисс - T (годы).

Период времени, в котором сокращенная суммарная кривая идет вверх, а $\sum(K - 1)$ величина положительная, соответствует многоводной фазе; период, в котором кривая наклонена вниз, а $\sum(K - 1)$ величина отрицательная, соответствует маловодной фазе водного режима.

Цикл - это сочетание многоводной и маловодной фаз и лет средней водности. Начало и конец циклов удобно определять по переломам кривой.

Репрезентативным признается период наблюдений, включающий несколько законченных циклов (не менее двух). Не полные циклы (имеющие только много - или маловодные фазы) из расчетного ряда исключаются.

При ряде наблюдений более 60 лет норму стока вычисляют с учетом всех членов ряда, т.к. в этом случае некоторое увеличение ряда существенного влияния на среднеарифметическое значение не оказывает. При непродолжительных (< 50 лет) рядах наблюдений оценку репрезентативности выполняют по рекам-аналогам с продолжительным (> 50 лет) статистическим рядом.

Достаточность периода наблюдений оценивается как его репрезентативностью, так и точностью вычисления нормы стока, для определения которой пользуются относительным значением среднеквадратической ошибки (%).

В соответствии с требованиями СП 33-101-2003 относительная среднеквадратическая ошибка при расчете нормы стока не должна превышать 10%.

При несоблюдении хотя бы одного из вышеуказанных условий соответствия среднеарифметического значения норме стока исходный ряд приводят к многолетнему периоду, удовлетворяющему указанным требованиям.

10. 2. 2. Определение нормы годового стока при недостаточности данных гидрометрических наблюдений

При недостаточности гидрометрических данных, т.е. в тех случаях, когда период наблюдений нерепрезентативен или средняя квадратическая погрешность расчетного значения гидрологической характеристики превышает 10%, исходный гидрологический

ряд необходимо удлинить (привести к многолетнему периоду) с привлечением данных наблюдений рек - аналогов.

Приемы приведения коротких рядов наблюдений к длительным основываются на установлении связи между годовым стоком в изучаемом бассейне (с коротким рядом наблюдений) и стоком в бассейне-аналоге с более длинным (не менее 50 лет) гидрологическим рядом.

При выборе рек-аналогов необходимо соблюдать требования по однородности условий формирования стока на водосборах: географическую близость водосборов; сходство климатических и физико-географических факторов формирования стока; отсутствие антропогенных факторов, существенно искажающих сток (регулирование стока водохранилищами и мелиоративными системами, сбросы, изъятие на хозяйственные нужды и т. п.). Площади водосборов должны отличаться не более чем в 10 раз.

При восстановлении значений стока за отдельные годы и расчета параметров и квантилей распределения необходимо производить статистическую оценку значимости и устойчивости получаемых решений с определением случайных и систематических погрешностей.

Приведение гидрологических рядов и их параметров распределения к многолетнему периоду осуществляется, как правило, аналитическими методами, основанными на регрессионном анализе, поскольку связи между гидрологическими явлениями бывают в большинстве случаев корреляционными. Это значит, что при одном и том же значении одной переменной величины вторая переменная может принимать не одно, как при функциональной связи, а несколько отличающихся друг от друга значений. Объясняется это тем, что гидрологические характеристики зависят не от одного, а одновременно от большого числа природных факторов. Например, количество факторов, влияющих на максимальные уровни воды на реках, может исчисляться двузначным числом. Поэтому, если бы попытались установить зависимость высоты максимальных уровней только от одного фактора, например запасов воды в снеге в момент снеготаяния, то убедились бы в том, что одному и тому же значению запасов воды в снеге может соответствовать не одно, а несколько значений максимальных уровней.

Исследование корреляционных связей сводится к установлению наличия, определению формы и тесноты связи между изучаемыми величинами.

Для оценки тесноты связи используется коэффициент корреляции R . По величине он может изменяться от 0 до ± 1 . Значения коэффициента корреляции, близкие к нулю, свидетельствуют об отсутствии связи между величинами, значения близкие к единице – о наличии тесной связи между ними. Положительные значения коэффициента свидетельствуют о наличии прямой связи между явлениями, когда с увеличением одной величины (например, количества осадков) увеличивается и вторая величина (поверхностный сток), отрицательные значения – об обратной связи, при которой с увеличением одной величины вторая величина уменьшается (например, с ростом испарения сток уменьшается).

При наличии параллельных наблюдений за среднегодовыми расходами в изучаемом бассейне и бассейне-аналоге коэффициент парной корреляции R определяют по формуле:

$$R = \sum(\Delta Q \Delta Q_a) / (n - 1) \sigma_Q \sigma_{Qa}, \quad (66)$$

где ΔQ и ΔQ_a - отклонения отдельных значений среднегодовых расходов изучаемой реки и реки-аналога от средних многолетних расходов, σ_Q и σ_{Qa} - средние квадратичные отклонения среднегодовых расходов стока за совместный период наблюдений n , которые в свою очередь вычисляются по формулам:

$$\sigma_Q = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta Q_i^2 / (n-1)}, \quad (67)$$

$$\sigma_{Qa} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta Q_{ia}^2 / (n-1)}. \quad (68)$$

При расчете параметров распределения и значений стока за отдельные годы с использованием аналитических методов, основанных на регрессионном анализе, должны соблюдаться следующие условия:

$$n' \geq 6 - 10; \quad R \geq R_{кр}; \quad R / \sigma_R \geq A_{кр}; \quad k / \sigma_k \geq B_{кр}, \quad (69)$$

где n' - число совместных лет наблюдений в приводимом пункте и пунктах аналогах ($n' \geq 6$ при одном аналоге, $n' \geq 10$ при двух и более аналогах); R - коэффициент парной или множественной корреляции между значениями стока исследуемой реки и значениями стока в пунктах - аналогах; k - коэффициент уравнения регрессии; σ_k - средняя квадратическая погрешность коэффициента регрессии; $R_{кр}$ - критическое значение коэффициента парной или множественной корреляции (задается $\geq 0,7$); $A_{кр}$, $B_{кр}$ - критические значения отношений R / σ_R и k / σ_k соответственно (обычно задаются $\geq 2,0$, что обеспечивает по крайней мере 95%-ный уровень надежности расчетов).

Если хотя бы один из коэффициентов уравнения регрессии не удовлетворяет условию (69), то это уравнение не используется для приведения к многолетнему периоду.

В случае одного пункта-аналога приведение среднего значения изучаемой реки к более длительному периоду осуществляется двумя способами.

1). Среднее многолетнее значение (норма) расходов воды определяется по уравнению регрессии сразу:

$$\bar{Q}_N = \bar{Q}_n + R(\sigma_n / \sigma_{n,a}) (\bar{Q}_{N,a} - \bar{Q}_{n,a}), \quad (70)$$

где $\bar{Q}_n$, $\bar{Q}_{n,a}$ - среднеарифметические значения гидрологической характеристики соответственно для исследуемой реки и реки-аналога, вычисленные за период совместных наблюдений; $\bar{Q}_N$, $\bar{Q}_{N,a}$ - норма стока за N - летний период соответственно для изучаемой реки и реки - аналога; σ_n , $\sigma_{n,a}$ - средние квадратические отклонения гидрологической характеристики за совместный период n лет соответственно исследуемой реки и реки - аналога.

2). Приведение расходов воды исследуемой реки к многолетнему периоду осуществляется с помощью уравнения регрессии по значениям среднегодовых расходов, восстановленным по годам, не вошедшим в годы параллельных наблюдений

$$Q_i = \bar{Q}_n + R(\sigma_n / \sigma_{n,a}) (Q_{i,a} - \bar{Q}_{n,a}), \quad (71)$$

где Q_i , $Q_{i,a}$ - средние годовые расходы воды соответственно изучаемой реки и реки-аналога в годы, не вошедшие в совместный период наблюдений.

Норму стока изучаемой реки находят как среднее арифметическое за N – летний период:

$$\bar{Q}_N = \sum_1^N Q_i / N. \quad (72)$$

Точность вычислений приведенной к многолетнему периоду нормы стока определяют с помощью относительной средней квадратической погрешности (СП 33-101-2003, стр. 20).

10. 2. 3. Определение нормы годового стока при отсутствии данных

При отсутствии данных гидрометрических наблюдений в расчетном створе применяют региональные методы расчета гидрологических характеристик, основанные на результатах обобщения гидрометеорологических наблюдений в районе проектирования. При этом параметры распределения и расчетные значения определяют с помощью следующих основных методов:

- водного баланса;
- гидрологической аналогии;
- осреднения в однородном районе;
- построения карт изолиний;
- построения региональных зависимостей стоковых характеристик от основных физико-географических факторов водосборов;
- построения зависимостей между погодичными стоковыми характеристиками и стокоформирующими факторами.

Параметры распределения годового стока (среднее, коэффициент вариации, отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации и коэффициент автокорреляции) при отсутствии наблюдений за стоком в расчетном створе определяют по рекам-аналогам.

Среднее многолетнее значение стока (в модулях или слоях стока) на равнинной территории определяют линейной интерполяцией между изолиниями стока по центру тяжести водосбора, т.к. карты речного стока составляют по значениям стока, отнесенным не к точке, а к центру бассейна (предполагается, что сток реки равномерно распределен по всему бассейну).

В случае пересечения водосбора несколькими изолиниями средневзвешенное значение стока вычисляют по формуле:

$$q_{cp} = (q_1 A_1 + q_2 A_2 + \dots + q_n A_n) / A, \quad (73)$$

где $q_1, q_2, \dots, q_n$ – средние значения стока между соседними изолиниями, пересекающими водосбор; $A_1, A_2, \dots, A_n$ – соответствующие площади между изолиниями; A – общая площадь водосбора до расчетного створа.

Вопросы для самоконтроля

1. Основная цель инженерной гидрологии.
2. Расчетные гидрологические характеристики.

3. Классификация методов, применяемых при расчете основных гидрологических характеристик.

4. Норма годового стока.

5. Вычисление нормы годового стока при наличии данных гидрометрических наблюдений.

6. Вычисление нормы годового стока при недостаточности данных гидрометрических наблюдений.

7. Вычисление нормы годового стока при отсутствии данных гидрометрических наблюдений.

Список литературы

Основная

1. Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - **ISBN 978-5-06-005815-4**.

2. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - **ISBN 978-5-9999-0885-8**.

3. Гидрометрия. Учебное пособие/ И. В. Кожемяченко, Ю. В. Бондаренко, О. В. Гуцол, О. Н. Жихарева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 160 с. - **ISBN 978-5-7011-0603-9**.

Дополнительная

1. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.

2. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004 г.

3. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения», Госстандарт СССР, М., 1988 г.

4. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.

5. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- <http://library.sgau.ru/>;

- dic.academic.ru;

- <http://ru.wikipedia.org>;

- <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 11

ЭМПИРИЧЕСКИЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ КРИВЫЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ

11. 1. Использование методов теории вероятности и математической статистики

Гидрологические явления и процессы обусловлены действием многих факторов, т.е. являются многофакторными.

Например, годовой сток зависит от количества и распределения во времени осадков, температуры воздуха и почвы, почвенного и растительного покрова, рельефа и т.д.

Учесть влияние каждого фактора на сток в явном виде невозможно. Поэтому для выявления закономерностей, свойственных совокупности явлений, применяют статистические методы. Основные гидрологические характеристики при этом рассматриваются как совокупность случайных величин, а их колебания во времени как случайный (стохастический, вероятностный) процесс.

Случайными считают величины, принимающие те или иные значения с определенными вероятностями.

Теоретическим обоснованием возможности рассмотрения гидрологических рядов как совокупности случайных величин являются предельные теоремы вероятности. Одно из положений теорем, основанное на законе больших чисел, отмечает, что при очень большом числе случайных однородных явлений средний их результат перестает быть случайным и может быть предсказан с большой степенью определенности. Согласно другому положению явления, возникающие под действием суммы большого числа независимых (слабо зависимых) случайных факторов, образуют случайную совокупность, подчиняющуюся статистическим законам.

Гидрологические явления в основном удовлетворяют этим положениям.

Главная задача расчетов стока с использованием методов теории вероятностей и математической статистики заключается в получении надежных его характеристик в период будущей эксплуатации водохозяйственных объектов. Основанием для таких расчетов являются данные о стоке за прошедшее время.

11. 2. Изменчивость годового стока

В связи с изменением физико-географических факторов во времени, как отмечалось ранее, сток каждой реки колеблется от года к году. Размах этих колебаний определяется как амплитуда колебаний (A):

$$A = Q_{\max} - Q_{\min} \quad (74)$$

Отклонение каждого члена ряда от среднего арифметического составляет:

$$Q_i - \bar{Q} = \Delta Q \quad (75)$$

А можно ли получить осредненный показатель $\Delta \bar{Q} = \sum \Delta Q / n$ по всему ряду?

Нет!!! Так как сумма всех отклонений равна нулю, то и среднее отклонение тоже равно нулю, т.е. этим показателем оценивать изменчивость рядов, сравнивать их между собой нельзя.

Поэтому мерой изменчивости (рассеяния) значений исследуемого ряда служит среднеквадратическое отклонение - σ_Q (квадрат как положительных, так и отрицательных отклонений положителен).

$$\sigma_{\bar{Q}} = \sqrt{\sum (Q_i - \bar{Q})^2 / (n-1)} = \sqrt{\sum \Delta Q^2 / (n-1)}. \quad (76)$$

Величина σ_Q имеет размерность членов исходного ряда.

Для сопоставления степени изменчивости отдельных рядов, различающихся своими средними значениями, вычисляют коэффициент вариации, численно равный отношению среднеквадратического отклонения к среднеарифметическому:

$$C_v = \sigma_Q / \bar{Q} = \sqrt{\sum (K_i - 1) / (n-1)}, \quad (77)$$

где $K_i = Q_i / \bar{Q}$ - модульный коэффициент.

Коэффициент вариации является безразмерной (относительной) характеристикой изменчивости статистического ряда.

С помощью коэффициента вариации можно определить относительную (в процентах) среднеквадратическую ошибку нормы стока по формуле:

$$\varepsilon_{\bar{Q}} = C_v / \sqrt{n} \cdot 100\%. \quad (78)$$

При одном и том же C_v , чем больше n , тем меньше ε_Q . Применительно к норме стока в соответствии с СП 33-101-2003 относительная среднеквадратическая ошибка не должна превышать 10 %. Отсюда число лет для вычисления нормы должно быть:

$$n \geq 100 C_v^2 \quad (79)$$

11. 3. Обеспеченность гидрологической характеристики

Обеспеченность гидрологической характеристики - вероятность того, что рассматриваемое значение гидрологической величины может быть превышено.

Если ряд гидрологических значений, например, среднегодовых расходов, разместить в порядке убывания (ранжировать ряд), то обеспеченность $P\%$ члена ряда с порядковым номером m при общем числе членов n равна:

$$P\% = m/n \cdot 100\% . \quad (80)$$

Из-за того, что обеспеченность последнего члена ряда всегда получается равной 100%, тогда как $P\%$ только стремится к 100% при n стремящемся к бесконечности Крицкий С. Н. и Менкель М. Ф. представили уравнение в виде:

$$P\% = m / (n+1) \cdot 100\% . \quad (81)$$

Под повторяемостью понимают число лет N , в течение которых данная величина встречается (превышается) в среднем один раз.

Обеспеченность и повторяемость связаны между собой равенствами:

$$N = 100/P\% \quad (\text{при } P\% < 50\%); \quad (82)$$

$$N = 100/100 - P\% \quad (\text{при } P > 50\%). \quad (83)$$

Если задать $P\%$ равной 10% и 90%, то окажется, что в обоих случаях согласно (82) и (83) $N = 10$ (годам). Почему?

Мы подошли к закономерностям распределения случайных величин. Оказывается, применительно к нашему случаю, что при нормальном распределении повторяемость как очень больших, так и очень малых величин близки между собой. До конца понять это можно, только рассмотрев порядок построения и анализа кривых распределения и кривых обеспеченности.

11. 4. Кривые распределения. Кривые обеспеченности

Кривая распределения – это графическое изображение распределения случайной величины.

Порядок построения кривой распределения среднегодовых расходов:

1 этап. Выписывают в календарной последовательности среднегодовые расходы Q_i и соответствующие им годы по изучаемой реке у исследуемого створа;

2 этап. Располагают Q_i в убывающем порядке и определяют соответствующие им модульные коэффициенты K ;

3 этап. Располагают модульные коэффициенты в убывающем порядке через равные интервалы, например через 0,2;

4 этап. Для каждого интервала определяют частоту (повторяемость) N расходов, выраженную в годах или процентах.

Откладывая на графике по оси ординат значения модульных коэффициентов K , а по оси абсцисс – значения повторяемости N , получают ступенчатый график распределения случайной величины – гистограмму распределения, а на ее основе – кривую распределения или кривую вероятностей.

5 этап. Для каждого интервала определяют обеспеченность P , выраженную в годах и процентах.

Откладывая на графике по оси ординат K , а по оси абсцисс $P\%$ строят эмпирическую кривую обеспеченности.

Кривые обеспеченности имеют 3 характерные точки на оси К.

1 точка – центр распределения – соответствует среднеарифметическому значению ряда ($K = 1$).

2 точка - медиана – делит ряд на две равные части (при $N = 27$ это 14-й член ряда с $K = 0,87$).

3 точка – мода – значение ряда, которому соответствует наибольшая частота N (в нашем примере моде соответствует $K = 0,6$).

Кривые распределения бывают симметричные (тогда все 3 точки сливаются в ось симметрии) и асимметричные, как в нашем случае.

Гидрологические явления как правило асимметричны. Показателем степени асимметрии служит радиус асимметрии d – расстояние между центром распределения и модой.

Расстояние между медианой и центром равно примерно $1/3 d$.

Основные параметры кривой распределения:

- среднеарифметическое значение ряда:

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^{i=n} Q_i / n; \quad (83)$$

- характеристики рассеяния или изменчивости (среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\bar{Q}}$, коэффициент вариации C_v):

$$\sigma_{\bar{Q}} = \sqrt{\sum (Q_i - \bar{Q})^2 / (n-1)} = \sqrt{\sum \Delta Q^2 / (n-1)}; \quad (84)$$

$$C_v = \sigma_{\bar{Q}} / \bar{Q} = \sqrt{\sum (K_i - 1)^2 / (n-1)}; \quad (85)$$

- характеристики асимметричности (коэффициент асимметрии C_s и коэффициент скошенности S):

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{C_v^3 (n-1)(n-2)}. \quad (86)$$

Для точного вычисления C_s требуется продолжительный (обычно более 100 лет) ряд наблюдений. Поэтому на практике коэффициент асимметрии определяют методом подбора. В большинстве случаев $C_s = 2 C_v$. Для рек засушливой зоны $C_s < 2 C_v$, для горных и предгорных рек $C_s > 2 C_v$. Во всех случаях C_s выбирают очень осторожно и проверяют экспериментальными данными:

$$S = (Q_5 + Q_{95} - 2Q_{50}) / (Q_5 - Q_{95}), \quad (87)$$

где Q_5, Q_{50}, Q_{95} – значения расходов воды вероятности превышения соответственно 5, 50 и 95 %, установленные по эмпирической кривой распределения.

Вопросы для самоконтроля

1. Использование методов теории вероятности и математической статистики.

2. Изменчивость годового стока.
3. Обеспеченность гидрологической характеристики.
4. Кривые распределения.
5. Кривые обеспеченности.

Список литературы

Основная

1. Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - **ISBN 978-5-06-005815-4**.
2. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - **ISBN 978-5-9999-0885-8**.
3. Гидрометрия. Учебное пособие/ И. В. Кожемяченко, Ю. В. Бондаренко, О. В. Гуцол, О. Н. Жихарева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 160 с. - **ISBN 978-5-7011-0603-9**.

Дополнительная

1. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.
2. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004 г.
3. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения», Госстандарт СССР, М., 1988 г.
4. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.
5. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - <http://library.sgau.ru/>;
 - dic.academic.ru;
 - <http://ru.wikipedia.org>;
 - <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 12

ПАРАМЕТРЫ АНАЛИТИЧЕСКИХ КРИВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ (ОБЕСПЕЧЕННОСТИ)

12. 1. Аналитические кривые обеспеченности

Кривая обеспеченности может быть получена из гистограммы распределения путем последовательного суммирования частот появления $K_{p\%}$ в пределах выделенных интервалов. Однако подобные эмпирические кривые не находят применения в практике проектирования из-за недостаточности гидрологических данных. Особо слабо освещаются данными наиболее важные для расчетов верхний и нижний участки кривой.

Поэтому в гидрологических расчетах нашли применение аналитические кривые обеспеченности стока, полученные на основании математических кривых распределения:

1. Биномиальной кривой;
2. Кривой трехпараметрического гамма-распределения;
3. Логарифмически нормальных кривых распределения.

СП 33 – 101 -2003 рекомендует в качестве основных при гидрологическом обосновании проектирования и строительства первые две кривые.

Уравнение ассиметричной биномиальной кривой распределения имеет сложный вид в дифференциальной форме, не поддающееся точному интегрированию. Однако основные параметры кривой определяются, как отмечалось ранее, тремя параметрами: $\bar{Q}$, C_v и C_s .

В результате приближенного интегрирования уравнения биномиальной кривой А. Фостером составлена таблица нормированных отклонений от среднего значения ординат распределения – $\Phi_{p\%}$.

Ордината же кривой обеспеченности в этом случае равна:

$$K_{p\%} = \Phi_{p\%} \cdot C_v + 1 \quad (88)$$

Для построения биномиальной кривой по эмпирическому ряду определяют C_v и C_s , задаваясь различными обеспеченностями $P\%$ по уравнению (80) находят ординаты $K_{p\%}$ и строят аналитическую биномиальную кривую обеспеченности, откладывая по оси абсцисс задаваемые $P\%$, а по оси ординат $K_{p\%}$.

Не смотря на широкое распространение биномиальная кривая не применима для расчета стока при $C_s \leq 2 C_v$, т. к. левый конец кривой распределения уходит в область отрицательных значений стока.

Крицким С. Н. и Менкелем М. Ф. получено семейство кривых распределения, выражающихся чрезвычайно сложным уравнением. Эти кривые также определяются тремя параметрами $\bar{Q}$, C_v и C_s и носят название кривых трехпараметрического гамма - распределения.

Результаты интегрирования кривых трехпараметрического гамма - распределения сведены в таблицы, позволяющие определить ординаты аналитических кривых обеспеченности $K_p\%$ в зависимости от C_v , C_s/C_v и $P\%$.

Для построения кривой трехпараметрического гамма – распределения по эмпирическому ряду определяют C_v и C_s , задаваясь различными обеспеченностями $P\%$ по таблицам находят ординаты $K_p\%$ и строят аналитическую кривую обеспеченности, откладывая по оси абсцисс задаваемые $P\%$, а по оси ординат $K_p\%$.

Правильность построения аналитической кривой проверяют эмпирическими данными, для чего вначале вычисляют эмпирическую обеспеченность каждого члена ряда, а затем наносят точки эмпирической кривой на график аналитической кривой. Если точки эмпирической кривой осредняют аналитическую кривую, значит она построена верно, если нет – то или неправильно взято соотношение C_v и C_s , или допущена ошибка в расчетах. Для наибольшего и наименьшего членов ряда наблюдений следует указывать доверительные интервалы эмпирической ежегодной вероятности превышения (приложение Б СП 33-101-2003).

Кривые обеспеченности стока, построенные в простых координатах, имеют большую кривизну в верхней и нижней частях, что чревато ошибками при определении наиболее важных для проектирования расходов большой и малой обеспеченности. Для устранения этого недостатка применяют клетчатки вероятностей с обычной (при $C_s \leq 2C_v$) и логарифмической вертикальной шкалой (при $C_s > 2C_v$). Основное свойство клетчатки вероятностей состоит в том, что нормальная кривая Гаусса (при $C_s = 0$) получается на ней в виде прямой линии.

12. 2. Определение параметров аналитических кривых обеспеченности стока

Основные параметры аналитических кривых обеспеченности можно определить тремя методами: методом моментов, методом приближенно наибольшего правдоподобия, графоаналитическим методом.

Метод моментов. Основные положения метода рассмотрены ранее (раздел 11. 4). В соответствии с этим методом:

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^{i=n} Q_i / n; \quad (89)$$

$$C_v = \sigma_Q / \bar{Q} = \sqrt{\sum (K_i - 1) / (n - 1)}; \quad (90)$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{C_v^3 (n - 1)(n - 2)}. \quad (91)$$

Метод приближенно наибольшего правдоподобия (Р. Фишер, англ.). Коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s для трехпараметрического

гамма – распределения Крицкого – Менкеля определяют этим методом в зависимости от статистик λ_2 и λ_3 , вычисляемых по формулам:

$$\lambda_2 = \sum_{i=1}^n \lg K_i / (n - 1); \quad (92)$$

$$\lambda_3 = \sum_{i=1}^n K_i \lg K_i / (n - 1), \quad (93)$$

где K_i – модульный коэффициент рассматриваемой гидрологической характеристики.

По полученным значениям статистик λ_2 и λ_3 определяют коэффициенты вариации и асимметрии по номограммам [СП 33 – 101 -2003].

Графоаналитический метод (метод Г. А. Алексеева). На начальных стадиях проектирования допускается определение параметров биномиального распределения графоаналитическим методом, осуществляемое в следующем порядке:

1. Имея ранжированный ряд расходов Q_i определяют обеспеченность $P\%$ каждого члена ряда и строят на клетчатке вероятностей эмпирическую кривую обеспеченности. С нее снимают три характерные ординаты $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$ и $Q_{95\%}$;

2. По найденным ординатам вычисляется коэффициент скошенности S по уравнению (87).

3. По таблицам нормированных отклонений от среднего значения ординат распределения биномиальной кривой [СП 33 – 101 -2003] находится C_s , т.к. $S = f(C_s)$.

$$4. \quad \sigma = (Q_5 - Q_{95}) / (\Phi_5 - \Phi_{95}); \quad (94)$$

$$\bar{Q} = Q_{50} - \Phi_{50} \sigma, \quad (95)$$

где Φ_5 , Φ_{50} и Φ_{95} - нормированные ординаты биномиальной кривой распределения, соответствующие вычисленному значению коэффициента скошенности S .

$$5. \quad C_v = \sigma / \bar{Q}. \quad (96)$$

Особо следует подчеркнуть, что метод моментов применим для определения параметров и биномиальной кривой, и кривой трехпараметрического гамма – распределения, метод приближенно наибольшего правдоподобия только для определения параметров кривой трехпараметрического гамма – распределения, а графоаналитический метод – для биномиальной кривой.

Вопросы для самоконтроля

1. Аналитические кривые обеспеченности.
2. Основные параметры аналитической кривой.
3. Основные методы определения параметров аналитической кривой.
4. Метод моментов.
5. Метод наибольшего правдоподобия.
6. Графоаналитический метод.

Список литературы

Основная

1. Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - **ISBN 978-5-06-005815-4**.
2. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - **ISBN 978-5-9999-0885-8**.
3. Гидрометрия. Учебное пособие/ И. В. Кожемяченко, Ю. В. Бондаренко, О. В. Гуцол, О. Н. Жихарева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 160 с. - **ISBN 978-5-7011-0603-9**.

Дополнительная

1. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.
2. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004 г.
3. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения», Госстандарт СССР, М., 1988 г.
4. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.
5. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - <http://library.sgau.ru/>;
 - dic.academic.ru;
 - <http://ru.wikipedia.org>;
 - <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 13

ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ речного стока

13. 1. Общие сведения

Внутригодовое распределение стока рек России отличается большим разнообразием. Изучение внутригодового распределения стока имеет большое значение с точки зрения регулирования стока рек при использовании водных ресурсов для различных водохозяйственных целей, определения параметров водохранилищ и ГТС.

Расчет внутригодового распределения стока дает возможность установить не только закономерность в колебании стока по годам, но и степень изменчивости стока по сезонам и месяцам каждого года.

Точное определение распределения стока в году затруднено, т.к. на внутригодовое распределение стока влияет целый ряд физико-географических факторов и хозяйственная деятельность человека.

К первым относятся:

Климатические факторы: температура, осадки и испарение в году. Климатические факторы имеют географическую зональность, что позволило Б. Д. Зайкову создать классификацию рек по типу внутригодового распределения стока. С севера на юг увеличивается доля весеннего стока, которая, например, в Заволжье составляет до 95-97% от годового стока.

Озерность. Озера обладают наибольшей регулирующей способностью: растягивают половодья, уменьшают максимальные расходы и увеличивают сток в межень. Наибольший регулирующий эффект у озер, расположенных в нижней части бассейна.

Заболоченность. Регулирующая эффективность болот зависит от типа болот и их гидрологического режима. Регулирующее влияние болот увеличивается от верховых болот к переходным и низинным

Размер и рельеф бассейна. Чем больше бассейн, тем больше доля грунтового питания, тем устойчивее сток в межень. На суходолах и малых реках практически весь сток приходится на весну.

Лесистость. Лес увеличивает продолжительность половодья и перераспределяет поверхностный и подземный сток. Особенно эффективны лесные полосы из-за рационального размещения по водосбору.

И здесь мы уже переходим к хозяйственной деятельности человека, которая может существенно изменить распределение стока в году путем строительства прудов и водохранилищ, осушения болот, устройства лесозащитных полос, проведения агротехнических мероприятий.

Внутригодовое распределение стока для какого-либо пункта реки не остается постоянным, оно изменяется из года в год.

Расчет внутригодового распределения стока заключается в составлении или выборе из множества возможных случаев одного или нескольких расчетных, отвечающих требованиям проектирования.

Наиболее правильным методом является метод водного баланса, когда надо решить уравнение относительно стока u для каждого месяца или сезона:

$$u = x - E \pm u, \quad (97)$$

где x - осадки; E - суммарное испарение; $\pm u$ - аккумуляционный член, показывающий изменение водного баланса в бассейне за изучаемый период времени.

Однако точный учет u и E затруднен, из-за чего метод водного баланса не нашел пока широкого применения.

В настоящее время применяются способы расчета внутригодового распределения стока, основанные на изучении закономерностей распределения стока и применения методов математической статистики.

Возможны два способа представления характеристик распределения стока: календарный и в порядке убывания расходов, т.е. в виде кривой обеспеченности расходов. Недостатком кривой является отсутствие представления о календарной последовательности и при подробном проектировании она не применяется.

13. 2. Расчет внутригодового распределения стока при наличии данных гидрометрических наблюдений

Основной способ расчета календарного внутригодового распределения стока – метод компоновки, который применим при ряде наблюдений $n > 10$ лет. При ряде наблюдений более 20 лет применим и метод реального года.

Метод компоновки. В современном представлении метод разработан В. Г. Андреяновым.

Программой курса предусмотрено выполнение расчетно-графической работы по внутригодовому распределению стока с применением этого метода. Здесь же рассмотрим общие положения метода компоновки.

Расчет методом компоновки делится на две части: межсезонное и внутрисезонное распределение стока (по месяцам или декадам).

Межсезонное распределение стока. При расчете год делится на два основных периода: многоводный и маловодный. Один из периодов для большей детализации делится на два сезона. Всего в году должно быть не более 3-х сезонов.

В зависимости от типа внутригодового распределения стока и целей водопотребления один из периодов принимается лимитирующим.

Лимитирующий – это критический период в отношении использования стока. Внутри лимитирующего периода выделяется лимитирующий сезон (рис. 13. 2. 1. 1, 13. 2. 1. 2, 13. 2. 1. 2).

Расчет внутригодового распределения стока ведут не по календарным годам, а по водохозяйственным, которые начинаются с многоводного периода. Сроки сезонов назначают едиными для всех лет ряда с округлением их до целого месяца.

При расчете по методу компоновки необходимо соблюдать равенство годового стока сумме стока за отдельные сезоны, для чего Андреянов рекомендует принимать

одинаковую обеспеченность годового стока, стока лимитирующего периода и лимитирующего сезона.

Примеры:

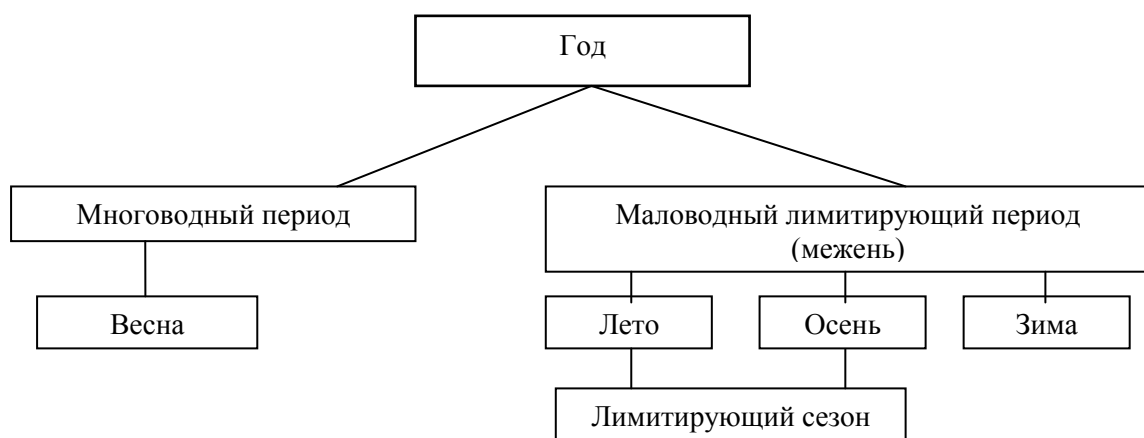


Рис. 13. 2. 1. 1. Река с весенним половодьем. Сток используется для орошения.

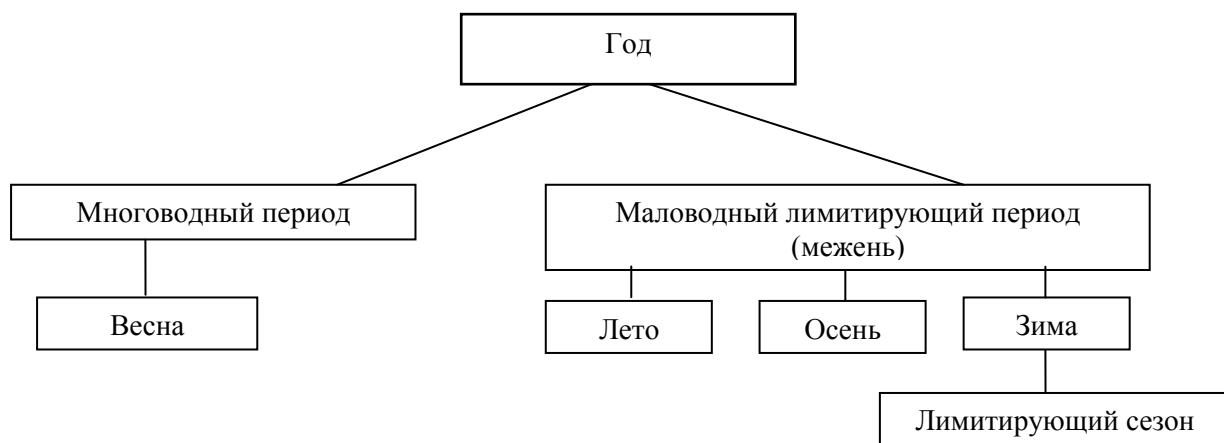


Рис. 2. Река с весенним половодьем. Сток используется для энергетики

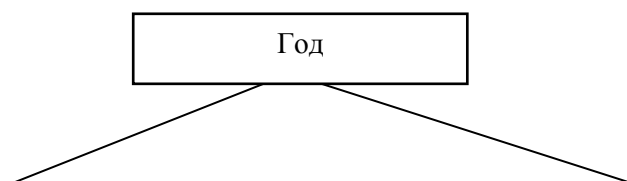




Рис. 3. Река с летним половодьем. Сток используется для орошения

Тогда сток за не лимитирующий сезон определится по разности между стоком лимитирующего периода и сезона:

$$Q_{\text{р.г.}} = K_{\text{р.г.}} \bar{Q}_{\text{г.}}; \quad (98)$$

$$Q_{\text{р. меж}} = K_{\text{р. меж}} \bar{Q}_{\text{меж}}; \quad (99)$$

$$Q_{\text{р. л-о}} = K_{\text{р. л-о}} Q_{\text{л-о}}; \quad (100)$$

$$Q_{\text{р. з.}} = Q_{\text{р. меж}} - Q_{\text{р. л-о}}; \quad (101)$$

$$Q_{\text{р. в.}} = Q_{\text{р. г.}} - Q_{\text{р. меж.}} \quad (102)$$

Следовательно, для вычисления внутригодового распределения стока по сезонам необходимо найти расход Q за год, межень и лето – осень, как среднеарифметические за многолетний период.

$K_{\text{р\%}}$ - ординаты кривой обеспеченности. Зная $P_{\%}$ (она задается), $K_{\text{р\%}}$ можно определить по кривой обеспеченности или по таблицам Рыбкина (с учетом C_v и C_s)

Внутрисезонное распределение стока. Итак, мы имеем расходы за все сезоны и сумма их равняется годовому расходу $Q_{\text{г.}}$. Внутрисезонное распределение стока по месяцам зависит от водности сезона и потому расчет производится по трем группам водности:

многоводная группа - сток обеспеченностью $P_{\%} < 33\%$;

средневодная группа – $P_{\%}$ от 33 до 66%;

маловодная группа – $P_{\%} > 66\%$.

Группу водности и соответствующие ей расходы и годы устанавливают в следующем порядке.

Для каждого сезона значения сезонного стока размещают по вертикали в порядке убывания и вычисляют их эмпирическую обеспеченность.

В соответствии с обеспеченностью ряд сезонных значений стока (по вертикали) разбивают на три группы водности.

Для каждой градации водности сезона суммируют месячные расходы с одинаковым порядковым номером внутри сезона. Подсчитывают суммы месячных расходов за сезон. Путем деления полученных сумм расходов за каждый месяц на сумму расходов за сезон находят относительное (в процентах) распределение стока по месяцам.

Умножая процентное внутрисезонное распределение стока на расчетный сток за сезон получаем значения месячных расходов за год расчетной обеспеченности. По данным месячным расходам строится гидрограф стока.

Вопросы для самоконтроля

1. Общие сведения о внутригодовом распределении стока.
2. Расчет внутригодового распределения стока при наличии данных гидрометрических наблюдений.
3. Основные методы определения параметров аналитической кривой.
4. Метод компоновки.
5. Межсезонное распределение стока.
6. Внутрисезонное распределение стока.

Список литературы

Основная

1. Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - **ISBN 978-5-06-005815-4**.
2. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - **ISBN 978-5-9999-0885-8**.
3. Гидрометрия. Учебное пособие/ И. В. Кожемяченко, Ю. В. Бондаренко, О. В. Гуцол, О. Н. Жихарева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 160 с. - **ISBN 978-5-7011-0603-9**.

Дополнительная

1. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.
2. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004 г.
3. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения», Госстандарт СССР, М., 1988 г.
4. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.
5. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - <http://library.sgau.ru/>;
 - dic.academic.ru;
 - <http://ru.wikipedia.org>;
 - <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 14

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ВНУТРИГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОКА

14. 1. Метод реального года

Сущность метода в том, что из числа фактических гидрографов выбирают тот, у которого обеспеченность годового стока, лимитирующего периода и сезона близки к расчетной (заданной).

Порядок выполнения:

- 1) Выписывают в порядке убывания сток за год, за лимитирующий период и сезон.
- 2) Вычисляют их эмпирическую обеспеченность, $P\%$;
- 3) Выбирают реальный гидрограф, соответствующий поставленному требованию равенства обеспеченности годового стока и стока лимитирующего периода и сезона расчетной обеспеченности.

Расчетный годовый сток $Q_{г.p\%}$, найденный по кривой обеспеченности, распределяется по месяцам в соответствии с процентным распределением в реальном году.

14. 2. Построение кривой обеспеченности суточных расходов воды

Выше мы говорили о том, что распределение стока по месяцам и сезонам может быть представлено не только в хронологическом порядке, но и в виде убывания величин или в виде кривых обеспеченности. Эти кривые отражают распределение стока внутри года, в отличие от кривых обеспеченности средних годовых расходов, которые характеризуют сток и его распределение в многолетнем разрезе.

Существуют 2 способа построения кривой обеспеченности средних суточных расходов:

- 1) построение обобщенной (абсолютной) кривой;
- 2) построение средней кривой.

Построение обобщенной кривой предложено Д. И. Кочериным.

Для этого все среднесуточные расходы за n лет наблюдений располагают в порядке убывания и вычисляют обеспеченность $P\%$ каждого члена ряда. Построение кривой трудоемко, т.к. получается очень много данных (за 10 лет = $365 \cdot 10 = 3650$ расходов).

- 2) Среднюю кривую обеспеченности суточных расходов строят по средним расходам различной обеспеченности, полученным по кривым обеспеченности за отдельные годы.

В Водном кадастре приведены расходы продолжительностью 30 суток ($P_{\%} = 8,3\%$), 90 суток ($P_{\%} = 25\%$), 180 суток ($P_{\%} = 50\%$), 270 суток ($P_{\%} = 75\%$), 355 суток ($P_{\%} = 97\%$), а также годовой максимум и минимум.

Осредненные расходы и представляют собой ординаты средней кривой обеспеченности суточных расходов.

В пределах от 10 до 90% обобщенная и средняя кривые близки между собой. При установлении расчетного расхода ГЭС пользуются обобщенной кривой. В других случаях можно пользоваться и средней кривой обеспеченности.

14. 3. Расчет внутригодового распределения стока при отсутствии или недостаточности гидрометрических данных

При отсутствии или недостаточности данных расчет внутригодового распределения стока ведут по методу гидрологической аналогии или по существующим районным схемам внутригодового распределения стока.

Метод гидрологической аналогии - основной метод для неизученных или слабоизученных рек. При выборе реки-аналога учитывают весь комплекс физико-географических факторов. Другое необходимое условие - сопоставление годовых, сезонных и месячных стоков по рассматриваемой реке и реке-аналогу за совместный период наблюдений.

При полном отсутствии данных проводятся совместные наблюдения в течение года.

Расчет внутригодового распределения стока ведут по методу компоновки, но параметры распределения ($\overline{Q}_r$, $\overline{Q}_{\text{межг}}$, $\overline{Q}_{\text{л-о}}$, $C_{\text{вг}}$ и $C_{\text{в л-о}}$) определяют по аналогии с другой рекой – рекой - аналогом по графикам связи.

Если площади водосборов рек близки, а распределение стока за время совместных наблюдений отличается незначительно, то допускается непосредственное перенесение процентного распределения стока в аналоге на изучаемую реку.

Для озерных или горных рек подобрать аналог обычно не удастся. В таких случаях устанавливают зависимость распределения от озерности или высоты водосбора.

В некоторых случаях используют районные схемы распределения стока по месяцам и сезонам, которые получены по данным системных наблюдений для различных лет водности. Использование этих схем возможно только после полевого обследования и установления отсутствия аazonальных условий и явлений.

Вопросы для самоконтроля

1. Метод реального года. Порядок выполнения расчета.
2. Построение кривой обеспеченности суточных расходов воды.
3. Расчет внутригодового распределения стока при недостаточности данных гидрометрических наблюдений.
4. Расчет внутригодового распределения стока при отсутствии данных гидрометрических наблюдений.

Список литературы

Основная

1. Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - ISBN 978-5-06-005815-4.

2. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.

3. Гидрометрия. Учебное пособие/ И. В. Кожемяченко, Ю. В. Бондаренко, О. В. Гуцол, О. Н. Жихарева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 160 с. - ISBN 978-5-7011-0603-9.

Дополнительная

1. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.

2. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004 г.

3. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения», Госстандарт СССР, М., 1988 г.

4. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.

5. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- <http://library.sgau.ru/>;

- dic.academic.ru;

- <http://ru.wikipedia.org>;

- <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 15

МАКСИМАЛЬНЫЙ СТОК РЕК. Расчетные максимальные расходы воды

15. 1. Общие сведения

Одна из наиболее ответственных задач при проектировании гидротехнических сооружений – установление расчетных максимальных расходов воды, принимаемых в качестве исходных величин для определения водопропускных и водосбросных отверстий этих сооружений.

Под максимальным расходом талых и дождевых вод понимают наибольшие в каждом году значения мгновенных или срочных расходов во время прохождения весеннего половодья или дождевых паводков на реках и временных водотоках.

15. 2. Особенности формирования максимального стока

По генезису (происхождению) максимальный сток рек подразделяют на сток весеннего половодья, дождевых паводков и сток смешанного происхождения, обусловленный как таянием снега, так и дождями.

Весеннее половодье типично для большинства рек России. Формирование максимального стока во время половодья - сложный и многофакторный процесс. Основные факторы, определяющие количество воды, поступающей на водосбор в этот период - высота и плотность снежного покрова, площадь и характер его распределения.

Существенное влияние на сток весеннего половодья оказывает интенсивность снеготаяния, то есть количество талых вод, образующихся в единицу времени. Она зависит главным образом от солнечной радиации и ряда других факторов (температуры воздуха, скорости ветра, характеристик ландшафта и т. д.). С увеличением интенсивности снеготаяния уменьшается ее продолжительность. Снег обладает влагоемкостью - способностью удерживать воду в виде пленочной или капиллярной влаги, поэтому водоотдача происходит с некоторым запаздыванием относительно начала снеготаяния.

Увеличению водоотдачи способствуют весенние дожди, под влиянием которых разрушаются снежные капилляры, структура снега и уменьшается его аккумулярующая способность. Однако не вся вода, образовавшаяся в результате таяния снега, поступает в речную сеть. Часть ее (до 10%) теряется на испарение с поверхности талых вод и снега, а часть расходуется на просачивание (инфильтрацию) в почву. Инфильтрация

зависит от структуры почвогрунтов, степени промерзания и увлажнения почвы перед наступлением отрицательных температур воздуха.

На песчаных и лесных подзолистых почвах водосборов внутрипочвенный сток составляет значительную долю весеннего стока, временно аккумулируя часть его и снижая наибольшую ординату половодья (максимальный расход). Та же часть талых вод, которая, просочившись, достигла поверхности грунтовых вод, идет на пополнение их запасов, обеспечивая в последующем питание реки в межень. Эту часть стока рассматривают как потери.

Чем больше площадь водосбора, тем больше его аккумулирующая способность и сглаживающее (трансформирующее) влияние на половодный сток. Именно поэтому с увеличением площади водосбора максимальный модуль стока уменьшается, продолжительность половодья увеличивается, а форма гидрографа становится более плавной, растянутой.

Наиболее сильно выражены процессы аккумуляции стока в бассейнах, имеющих озера, которые задерживают часть талых вод, вследствие чего снижается и максимальный сток весеннего половодья. Аккумулятивное талых вод происходит и в лесу, причем снижение максимума весеннего половодья зависит от степени залесенности, расположения лесов и состава лесных насаждений в бассейне.

Дождевые паводки обусловлены ливнями и продолжительными дождями. Они могут наблюдаться повсеместно, но наиболее часто - на Дальнем Востоке, в Карпатах, на Кавказе, в Крыму.

Важнейшие факторы, влияющие на формирование максимального дождевого стока, - интенсивность дождя, его продолжительность и площадь, охватываемая дождем, инфильтрация воды в почву, добегание дождевых вод до русловой сети бассейна.

Интенсивность дождя $i = h/t$ - главный фактор в формировании максимальных дождевых расходов (h - слой осадков, мм; t - продолжительность дождя, мин). Ливни и ливневые дожди отличаются большой изменчивостью интенсивности во времени. В начальный период интенсивность дождя сравнительно небольшая и почти вся вода расходуется на увлажнение почвы и заполнение неровностей рельефа. В формировании максимумов дождевых паводков основное значение имеет центральная часть гидрографа ливневого стока с наибольшей интенсивностью.

Слой осадков зависит не только от продолжительности дождя, но и от площади, которую он захватывает. Чем больше площадь бассейна, тем менее часто она полностью покрывается дождем, но даже при полном охвате площади дождем слой осадков уменьшается с увеличением площади их распространения.

Часть дождевой воды расходуется на инфильтрацию в почву. Потери дождевых осадков на инфильтрацию существенно больше, чем при снеготаянии. Часть профильтровавшейся воды образует внутрипочвенный сток и принимает участие в формировании паводка, а часть уходит в глубокие водоносные слои, подпитывая грунтовые воды.

Большое влияние на формирование ливневых паводков имеет такой фактор, как добегание ливневых вод до русловой сети бассейна. В связи с тем, что в начальный период выпадения дождя все осадки идут на покрытие потерь, а в конце интенсивность дождя становится меньше установившейся инфильтрации, продолжительность поступления воды в русловую сеть при ливневом паводке значительно меньше, чем при снеговом половодье.

Формирование дождевого стока происходит также под действием таких физико-географических факторов, как рельеф, почвенно-геологические условия, озерность, заболоченность, залесенность и др.

15. 3. Расчетные максимальные расходы воды

Установление расчетных максимальных расходов, на пропуск которых рассчитывают водосбросные и водопропускные гидротехнические сооружений, - одна из ответственных задач при проектировании водохозяйственных объектов.

Расчетные максимальные расходы определяют в зависимости от класса капитальности сооружений, принимая в качестве критерия ежегодную вероятность превышения расчетных максимальных расходов (табл. 15. 3. 1).

Таблица 6. Ежегодная вероятность превышения $P_{\%}$ расчетных максимальных расходов воды

Расчётные случаи	Класс гидротехнических сооружений			
	1	2	3	4
Основной	0,1	1,0	3,0	5,0
Поверочный	0,01	0,1	0,5	1,0

Временные гидротехнические сооружения рассчитывают на пропуск максимального расхода обеспеченностью 10%.

Расчетные максимальные расходы годовых максимумов устанавливают отдельно для талых и дождевых вод. Из двух полученных значений для проектных целей выбирают наибольшее или то, которое приводит к наиболее неблагоприятным условиям работы сооружения.

15. 4. Расчет максимальных расходов воды при наличии данных гидрометрических наблюдений

При наличии гидрометрических данных по максимальному стоку за достаточно длительный период наблюдений расчётные максимальные расходы талых и дождевых вод определяют с помощью аналитических кривых обеспеченности.

Для построения аналитических кривых обеспеченности вычисляют параметры: средний многолетний максимальный расход $\bar{Q}_{\max}$, коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s . Для расчетов используют, как правило, кривую трехпараметрического гамма-распределения. При достаточном обосновании допускается использовать биномиальную кривую обеспеченности (при $C_s \geq 2C_v$).

При вычислении параметров указанных аналитических кривых применяют: метод наибольшего правдоподобия для трехпараметрического гамма-распределения; метод моментов для биномиального и трехпараметрического гамма-распределения; графоаналитический метод по трем опорным ординатам $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{95\%}$ сглаженной эмпирической кривой обеспеченности максимальных расходов воды для биномиального распределения.

По найденным параметрам $\bar{Q}_{\max}$, C_v и C_s строят аналитическую кривую обеспеченности максимальных расходов (трехпараметрического гамма-распределения

или биномиального распределения) и сопоставляют её с эмпирической кривой обеспеченности.

При проектировании сооружений I класса, а также ГТС, разрушение которых приводит к катастрофическим последствиям, к максимальному расходу $P_{\%}=0,01\%$ прибавляют гарантийную поправку, т.е. получают исправленный расход:

$$Q'_{0,01\%} = Q_{0,01\%} + \Delta Q_{0,01\%}, \quad (103)$$

Гарантийная поправка равна:

$$\Delta Q_{0,01\%} = \alpha E_{p\%} Q_{0,01\%} / \sqrt{n}, \quad (104)$$

где α – коэффициент, характеризующий гидрологическую изученность рек; принимается равным 1,0 для гидрологически изученных рек, во всех остальных случаях –1,5; $E_{p\%}$ – величина, характеризующая случайную среднюю квадратическую ошибку расчетного расхода воды ежегодной вероятности превышения $P = 0,01\%$, определяемая по приложению Б СП 33-101-2003.; n – число лет наблюдений с учетом приведения к многолетнему периоду.

Принимаемый расчетный расход с учетом гарантийной поправки не должен быть меньше, чем наибольший наблюдаемый расход.

При наличии сведений о выдающемся историческом максимуме (экстремальном расходе) параметры аналитической кривой обеспеченности определяют с учетом исторического максимума методом наибольшего правдоподобия или методом моментов по соответствующим расчетным зависимостям.

Расчетные максимальные расходы воды зарегулированных рек определяются исходя из расчетного максимального расхода воды рек в естественном состоянии с учетом изменения его в результате хозяйственной деятельности в бассейне реки и трансформации проектируемыми или действующими водохранилищами.

На реках с каскадным расположением гидроузлов расчетные максимальные расходы воды следует определять с учетом влияния вышележащих гидроузлов на приток к нижерасположенным и боковой приточности между гидроузлами. Режим пропуска высоких вод через такие гидроузлы должен учитывать влияние вышележащих гидроузлов на приток воды к нижерасположенным гидросооружениям.

Вопросы для самоконтроля

1. Классификация максимального стока по происхождению (генезису).
2. Особенности формирования максимального стока.
3. Расчетные максимальные расходы воды.
4. Классы капитальности гидротехнических сооружений.
5. Расчет максимальных расходов при наличии данных гидрометрических наблюдений.

Список литературы

Основная

1. Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - ISBN 978-5-06-005815-4.

2. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.

3. Гидрометрия. Учебное пособие/ И. В. Кожемяченко, Ю. В. Бондаренко, О. В. Гуцол, О. Н. Жихарева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 160 с. - ISBN 978-5-7011-0603-9.

Дополнительная

1. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.

2. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004 г.

3. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения», Госстандарт СССР, М., 1988 г.

4. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.

5. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- <http://library.sgau.ru/>;

- dic.academic.ru;

- <http://ru.wikipedia.org>;

- <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО РАСХОДА ТАЛЫХ ВОД ПРИ НЕДОСТАТОЧНОСТИ И ОТСУТСТВИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

16. 1. Расчет максимальных расходов талых вод при отсутствии данных гидрометрических наблюдений

При определении расчетных максимальных расходов талых вод в условиях отсутствия данных наблюдений необходимо руководствоваться основными положениями, изложенными в СП 33-101-2003. Данный Свод правил рекомендует использовать приведенные ниже методы расчета максимальных расходов воды рек весеннего половодья на реках с площадями водосборов от элементарных (менее 1 км²) до 20000 км² для европейской части России и до 50000 км² – для азиатской части.

При проектировании сооружений на реках с площадями водосборов, превышающими указанные пределы, максимальные расходы талых вод при отсутствии гидрометрических данных определяют по результатам инженерно-гидрометеорологических изысканий в исследуемом районе.

Расчетный максимальный расход воды весеннего половодья $Q_{P\%}$, м³/с, заданной вероятности превышения $P\%$ при наличии рек-аналогов определяют по редуccionной формуле:

$$Q_{P\%} = K_0 h_{P\%} \mu \delta \delta_1 \delta_2 F / (F + F_1)^n, \quad (105)$$

где K_0 – параметр, характеризующий дружность (форму гидрографа) весеннего половодья; $h_{P\%}$ – расчётный слой суммарного (без срезки грунтового питания) весеннего стока той же вероятности превышения $P\%$, что и искомый максимальный расход воды, мм; μ – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды; δ – коэффициент, учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озёр; δ_1 – коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода в залесенных бассейнах; δ_2 – коэффициент учитывающий снижение максимального расхода в заболоченных бассейнах; F – площадь водосбора; F_1 – дополнительная площадь водосбора,

учитывающая снижение интенсивности модуля максимального стока с уменьшением площади водосбора, км²; n – показатель степени редукции, характеризующий уменьшение отношения $q_{p\%}/h_{p\%}$ в зависимости от площади водосбора.

1. Параметр K_0 вычисляют по данным рек-аналогов обратным расчётом:

$$K_0 = Q_{p\%} (F_a + F_1)^n / (h_{p\%} \mu \delta_a \delta_{1a} \delta_{2a} F_a). \quad (106)$$

2. Расчётный слой стока половодья определяют по уравнению:

$$h_{p\%} = k_{p\%} \bar{h}. \quad (107)$$

Для вычисления $h_{p\%}$ необходимо определить три параметра аналитической кривой: $\bar{h}$, C_v , C_s/C_v .

Средний многолетний слой стока половодья $\bar{h}$ определяется по рекам-аналогам или по картам среднего слоя весеннего стока.

Для малых равнинных рек с площадью водосбора $F < 200$ км² лесостепной, степной, полупустынной зон и засушливых степей средний многолетний слой весеннего стока следует определять интерполяцией по картам среднего слоя половодья рек страны с введением поправочных коэффициентов, устанавливаемых по зависимости:

$$\bar{h} = f(J_B), \quad (108)$$

где J_B – уклон водосбора.

При наличии озер, расположенных в бассейне реки, в величину среднего многолетнего слоя стока весеннего половодья, определенную интерполяцией, следует вводить коэффициент снижения слоя стока весеннего половодья, устанавливаемый по зависимости:

$$\bar{h} = f(f'_{oz}). \quad (109)$$

При этом параметр f'_{oz} , % определяют по формуле:

$$f'_{oz} = \sum_{i=1}^n (100 S_i F_i / F^2), \quad (110)$$

где S_i – площадь зеркала озера, км²; F_i – площадь водосбора озера, км²; F – площадь водосбора в расчетном створе реки, км².

Коэффициент δ при наличии проточных озёр в главном русле или на основных притоках определяют по формуле:

$$\delta = 1 / (1 + c f'_{oz}), \quad (111)$$

где c – коэффициент, принимаемый при наличии сведений только об относительной озерности $F_{oz,\%}$ равным 0,11 для всех природных зон, а при наличии сведений о средневзвешенной озерности $F'_{oz,\%}$ равным 0,2 для лесной и лесостепной зон и 0,4 –

для степной зоны. При наличии на реке водохранилищ коэффициент δ находят по проектным данным.

Влияние прудов при расчёте максимальных расходов воды обеспеченностью менее 5% не учитывают, а при $P > 5\%$ допускается уменьшать расчетный максимум до 10 %.

Коэффициент δ_1 вычисляют по уравнению:

$$\delta_1 = \alpha_1 / (f_{\text{л}} + 1)^{n_2}, \quad (112)$$

где α_1 – параметр (СП 33-101-2003), $f_{\text{л}}$ – лесистость водосбора, %; n_2 – коэффициент редукции.

Коэффициент δ_2 рассчитывают по формуле:

$$\delta_2 = 1 - \beta \lg(0,1f_{\text{б}} + 1), \quad (113)$$

где β – коэффициент, зависящий от типа болот (изменяется от 0,3 для верховых до 0,9 для низинных болот); $f_{\text{б}}$ – относительная площадь болот в бассейне, %.

16. 2. Расчет максимальных расходов дождевых паводков при отсутствии данных гидрометрических наблюдений

Максимальный сток воды дождевых паводков в неизученных бассейнах можно рассчитывать:

- по эмпирическим (редукционным) формулам, учитывающим в обобщенной форме лишь главные факторы формирования максимального стока и полученным на основе статистической обработки данных по дождевому стоку изученных рек,

- по формулам генетического характера (предельной интенсивности), отражающим определенные теоретические представления о процессах формирования стока на склонах водосборов и в руслах рек.

Формулы первой группы используют, как правило, для больших и средних рек, а второй группы – для малых.

При наличии рек-аналогов максимальные мгновенные расходы дождевых паводков $Q_{P\%}$, м³/с для водосборов более 50...100 км² вычисляют (СП 33-101-2003) по эмпирической редукционной формуле типа I:

$$Q_{P\%} = q_{P\%a} \varphi_{\text{м}} (\delta \delta_2 / \delta_a \delta_{2a}) F, \quad (114)$$

где $q_{P\%a}$ – модуль максимального срочного расхода воды реки-аналога расчетной вероятности превышения $P\%$, м³/с·км²; $\varphi_{\text{м}}$ – коэффициент, учитывающий редукцию максимального модуля стока дождевого паводка ($q_{1\%}$) с увеличением площади водосбора или продолжительности руслового времени добега (τ_p , мин); рассчитывают в зависимости от значения коэффициента $n_{\text{ф}}$, представляющего соотношение коэффициентов формы водосбора исследуемой реки и реки-аналога:

$$n_{\text{ф}} \approx LF_a^{0,56} / L_a F^{0,56}, \quad (115)$$

где L и L_a – гидрографическая длина водотока для исследуемой реки и реки-аналога соответственно, км; F и F_a – площадь водосбора для исследуемой реки и реки-аналога соответственно, км².

При $n_\phi < 1,5$ расчетное значение коэффициента φ_m определяют:

$$\varphi_m = (F_a / F)^n, \quad (116)$$

При $n_\phi > 1,5$:

$$\varphi_m = (\Phi_a / \Phi)^n, \quad (117)$$

где Φ и Φ_a – гидроморфометрическая характеристика русла для исследуемой реки и реки-аналога соответственно, определяется по формуле (120); δ и δ_a , δ_2 и δ_{2a} – поправочные коэффициенты, учитывающие для исследуемой реки и реки-аналога регулирующее влияние соответственно озер (прудов, водохранилищ) и болот (заболоченных земель) (см выше).

При отсутствии рек-аналогов для определения $Q_{P\%}$ применяется расчетная формула типа II:

$$Q_{P\%} = q_{200}(200 / F)^n \delta \delta_2 \delta_3 \lambda_{P\%} F, \quad (118)$$

где q_{200} – модуль максимального срочного расхода воды ежегодной вероятности превышения $P\%=1\%$, приведенный к условной площади водосбора, равной 200 км² при $\delta = \delta_2 = \delta_3 = 1,0$; определяют для исследуемой реки при наличии региональной карты параметра q_{200} интерполяцией, а при отсутствии карты – на основе использования многолетних данных гидрологически изученных рек; δ и δ_2 допускается определять по формулам () и (); δ_3 – поправочный коэффициент, учитывающий изменение параметра q_{200} с увеличением средней высоты водосбора $\bar{H}$, м, в полугорных и горных районах; $\lambda_{P\%}$ – переходный коэффициент от максимальный срочных расходов воды ежегодной вероятности превышения $P\%=1\%$ к значениям другой вероятности превышения $P\% < 25\%$; назначают по данным гидрологически изученных рек в регионе на основе установления соотношения $\lambda_{P\%} = Q_{P\%} / Q_{P\%}$.

При отсутствии рек-аналогов для водосборов площадью менее 200 км² максимальные расходы дождевых паводков $Q_{P\%}$ определяют по формуле типа III (предельной интенсивности стока):

$$Q_{P\%} = q'_{1\%} \varphi H_{1\%} \delta \lambda_{P\%} F, \quad (119)$$

где $q'_{1\%}$ – относительный модуль максимального срочного расхода воды ежегодной вероятности превышения $P\% = 1\%$, выраженный в долях от произведения $\varphi \cdot H_{P\%}$, при $\delta = 1$; определяется по табл. 3.24 в зависимости от гидроморфометрической характеристики русла исследуемой реки Φ_p , продолжительности склонового

добегания $\tau_{\text{ск}}$, мин.; $H_{1\%}$ - максимальный суточный слой осадков вероятностью превышения $P = 1\%$, мм, определяемый по данным ближайших к бассейну исследуемого водотока метеорологических станций с наибольшей длительностью наблюдений или по карте суточного слоя осадков на территории России; $\lambda_{p\%}$ - переходный коэффициент от максимальных расходов воды ежегодной вероятностью $P = 1\%$ к максимальным расходам воды другой вероятности превышения.

Гидроморфометрическая характеристика русла исследуемой реки определяется по формуле:

$$\Phi_p = 1000L / [m_p I_p^m F^{0,25} (\phi H_{1\%})^{0,25}], \quad (120)$$

где L – длина реки, км; m_p - коэффициент, зависящий от шероховатости русла, поймы, определяемый по таблице Б8 приложения Б СП; ϕ - сборный коэффициент стока при отсутствии рек-аналогов:

$$\phi = [c_2 \phi_0 / (F + 1)^{n_6}] (I_{\text{СК}} / 50)^{n_5}, \quad (121)$$

где c_2 – эмпирический коэффициент, принимаемый для лесной и тундровой зон равным 1,2; для остальных природных зон – 1,3; ϕ_0 – сборный коэффициент стока для водосбора площадью F , равной 10 км², со средним уклоном склонов $I_{\text{СК}}=50\%$ (изменяется в зависимости от природной зоны и типа почв); n_5 – степенной коэффициент, принимается в зависимости от природной зоны и типа почв; n_6 – степенной коэффициент, принимается для лесной зоны равным 0,07; для остальных – 0,11.

16. 3. Расчетные гидрографы половодья и дождевых паводков

Для решения многих задач при проектировании, строительстве и эксплуатации водосбросных сооружений гидроузлов, водохранилищ и других гидротехнических объектов кроме расчетных максимальных расходов воды Q_p % необходимо иметь также расчетные гидрографы половодья и паводков.

Гидрографы максимального стока формируются под влиянием многих природных факторов (климатических, физико-географических и др.) и характеризуются расчетным максимальным расходом воды, продолжительностью половодья или паводка, полным объемом максимального стока и объемом основной волны половодья (паводка), асимметрией очертания.

В соответствии с нормами проектирования форму расчетного гидрографа принимают по моделям наблюденных высоких весенних половодий и дождевых паводков в расчетном створе. При этом предпочтение отдается такой модели гидрографа, основные элементы которой (максимальный расход, объем основной волны и всего половодья или паводка) отвечают заданной ежегодной вероятности превышения (равнообеспечены), а ее форма наиболее неблагоприятна для эксплуатации гидроузла.

Расчетные гидрографы строят для весеннего половодья по среднесуточным расходам воды, а для дождевых паводков - по мгновенным расходам.

Вопросы для самоконтроля

1. Определение максимальных расходов воды весеннего половодья по редуccionной формуле.
2. Расчет максимальных расходов дождевых паводков при отсутствии данных гидрометрических наблюдений.
3. Расчетные гидрографы половодья.
4. Расчетные гидрографы дождевых паводков.

Список литературы

Основная

1. Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - **ISBN 978-5-06-005815-4**.
2. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - **ISBN 978-5-9999-0885-8**.
3. Гидрометрия. Учебное пособие/ И. В. Кожемяченко, Ю. В. Бондаренко, О. В. Гуцол, О. Н. Жихарева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 160 с. - **ISBN 978-5-7011-0603-9**.

Дополнительная

1. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.
2. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004 г.
3. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения», Госстандарт СССР, М., 1988 г.
4. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.
5. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - <http://library.sgau.ru/>;
 - dic.academic.ru;
 - <http://ru.wikipedia.org>;
 - <http://www.hydrology.ru>.

ЛЕКЦИЯ 17

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА МИНИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ МИНИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ПРИ НАЛИЧИИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

17. 1. Общие сведения

В годовом цикле изменения водности рек отчетливо выделяются многоводные и маловодные сезоны. На реках России наблюдаются два маловодных сезона: летне-осенний и зимний в районах с весенним половодьем или осенний и зимний в районах с весенне-летним половодьем и паводками. Речной сток, наблюдающийся в маловодные сезоны при отсутствии значительных паводков, принято называть меженным, а время, в котором он наблюдается - меженным периодом. В меженном периоде имеется отрезок времени, когда сток является наименьшим. Период наименьшего стока продолжительностью до 30 суток (месяц) называется периодом минимального стока.

Изучение условий формирования и особенностей определения расчетных характеристик минимального стока необходимо, так как длительные периоды низкого стока и экстремальные дефициты стока могут существенно влиять на стратегию управления водным хозяйством, включая характер регулирования стока, режима работы гидроэлектростанций, надежность систем водоснабжения. Кроме того, постоянно ужесточаются экологические требования к допустимым нарушениям естественного режима рек.

17. 2. Особенности и условия формирования минимального стока

Основные факторы, определяющие минимальный сток рек, - климат, почвенно-геологические и гидрологические условия речного бассейна, его площадь, а также леса, озера, болота.

Климат обуславливает как общий режим рек, так и режим минимального стока. В связи с этим в распределении минимального стока проявляется закон географической зональности. В северных районах устойчивый минимальный сток характеризуется большим количеством выпадающих атмосферных осадков и сравнительно небольшим испарением. В южных засушливых районах, где осадков выпадает мало, а испарение велико, минимальные расходы воды в реках незначительны.

Большое значение в формировании минимального стока имеют почвенно-геологические и гидрогеологические условия речного бассейна, которые обуславливают характер и величину подземного питания. Количество грунтовых вод, накапливающихся в верхних почвенных горизонтах, зависит от свойств почв, их водопроницаемости и водоудерживающей способности. В частности, рыхлые лесные почвы хорошо задерживают поверхностный сток, аккумулируют его, и поэтому минимальный сток рек с залесенных бассейнов обычно значительно выше, чем с незалесенных. В зоне неустойчивого и недостаточного увлажнения основную роль в питании рек играют глубокие подземные воды. Здесь основную роль в питании рек играют глубокие подземные воды. Следовательно, минимальный сток зависит от глубины эрозионного вреза русла, характера водоносных горизонтов и геологического состава пород. Чем больше водоносных горизонтов вскрывают долина и русло реки и чем они водообильнее, тем выше и устойчивее минимальный сток. Рыхлые и пористые породы (песчаники, известняки, галечники) создают благоприятные условия для аккумуляции подземных вод, а плотные и кристаллические (глины, граниты, гнейсы и др.), наоборот, уменьшают инфильтрацию воды и аккумулирующую способность бассейна.

Глубина эрозионного вреза русла реки растет с увеличением площади водосбора. При этом возрастает подпитывающая роль глубинных подземных вод, что приводит и к увеличению минимального стока. Поэтому, как правило, с расширением площади речного бассейна минимальный сток также возрастает. Однако в районах с неоднородным геологическим строением и разнообразными условиями подземного питания может наблюдаться не прямая, а обратная зависимость между модулем минимального стока и площадью водосбора.

Наземные аккумуляторы стока - озера. Они способствуют повышению минимального стока. Так, в озерных бассейнах Карелии минимальные модули стока составляют $2,0 \dots 1,5 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2)$, а на реках, не имеющих озерного регулирования, - менее $0,5 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2)$.

Влияние болот на минимальный сток зависит от их типа и глубины залегания грунтовых вод. В районах с низинными болотами, где уровень грунтовых вод близок к поверхности, минимальный модуль выше, чем в районах с верховыми болотами и в незаболоченных бассейнах.

На малых речных бассейнах основная роль в формировании минимального стока принадлежит местным физико-географическим факторам, поэтому минимальный модуль стока здесь изменяется в больших пределах. Весьма малые реки с неглубоким врезом русла, не дренирующие основные водоносные горизонты, могут в летний период пересыхать, а зимой, когда поверхностный сток отсутствует длительное время, промерзать (реки Саратовского Заволжья).

Продолжительность бессточного периода увеличивается по мере перехода от северных увлажненных районов к южным засушливым.

В лесной зоне, где грунтовые воды стоят высоко, систематически пересыхают реки с очень малыми водосборами ($1\text{--}2 \text{ км}^2$) и эпизодически – со средним (сотни квадратных километров). Почти ежегодно этот процесс наблюдается на реках южной части степной зоны, причем пересыхают даже большие реки с площадями водосбора $3000 \dots 10000 \text{ км}^2$ (например, реки Большой и Малый Узень, Еруслан и др.). Наибольшую продолжительность пересыхания имеют реки Прикаспийской низменности, степных и полупустынных районов Казахстана.

На севере европейской части страны, на Урале, в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке систематически зимой промерзают не только малые, но и достаточно большие реки. Промерзание рек связано не только с истощением запасов грунтовых вод, но и с увеличением толщины льда.

Пределы площадей водосборов промерзающих рек имеют зональное изменение, увеличиваясь с юго-запада на северо - восток. Так, в северных районах и на Урале систематически промерзают реки с площадью водосбора $50 \dots 100 \text{ км}^2$ и эпизодически – до 1000 км^2 . В зоне вечной мерзлоты Восточной Сибири и Дальнего Востока промерзают даже многие крупные реки, например р. Индигирка у пункта Майор-Крест ($F=172000 \text{ км}^2$).

17. 3. Определение расчетных минимальных расходов воды при наличии гидрометрических данных

Расчетные минимальные расходы – расходы, используемые при проектировании систем водоснабжения, орошения и обводнения земель, энергетического использования водных ресурсов, обеспечения судоходства, оценке влияния хозяйственной деятельности на сток и т.д.

При определении расчетных минимальных расходов рек в качестве основного критерия принимают его ежегодную вероятность превышения $P\%$ (обеспеченность), которая устанавливается соответствующими нормативными документами. Например, при проектировании оросительных систем обеспеченность расчетного минимального расхода принимают в пределах $75 \dots 85\%$, систем водоснабжения - $95 \dots 97$, энергетики- 90% и т. д.

Расчеты минимального стока выполняют по данным наблюдений за зимний и летнее - осенний периоды. За зимний период принимается время от начала ледовых явлений на реке до начала весеннего половодья; за летне–осенний – от конца половодья до начала ледовых явлений.

К основным расчетным характеристикам минимального стока относятся: минимальный среднемесячный расход за календарный месяц, минимальный средний расход за 30 суток с наименьшим стоком и минимальный среднесуточный расход. Минимальные среднемесячные расходы воды за календарный месяц используют при устойчивой и продолжительной межени (не менее 2 месяцев), не прерываемой паводками. Если меженный период короткий (менее 2 месяцев) и прерывается паводками, то при расчетах минимального стока рекомендуется использовать средние расходы воды за 30 суток с наименьшим стоком. Минимальный 30- суточный некалендарный сток определяют так: строят гидрографы стока реки за каждый год за весь период наблюдений. На каждом из них выделяют участок продолжительностью 30 суток с наименьшими расходами воды и по таблице ежедневных расходов воды вычисляют средний расход воды за выбранный период. Минимальные 30- суточные расходы воды всегда меньше или равны среднемесячным календарным расходам.

При неустойчивой, прерываемой частыми паводками межени для определения расчетных минимальных расходов используют минимальные среднесуточные расходы воды, которые приведены в таблицах ежегодных расходов воды Государственного водного кадастра.

Расчетные минимальные расходы воды определяют по аналитической кривой (биномиальной или трехпараметрического гамма – распределения) обеспеченности минимального стока. При этом параметры кривых обеспеченности ($\bar{Q}_{\min}$, $C_{v\min}$, $C_{S\min}$) вычисляют методами наибольшего правдоподобия, моментов или графоаналитическим методом.

При наличии в ряду наблюдений нулевых значений минимальных расходов (для пересыхающих и промерзающих рек) переход от аналитической кривой обеспеченности, построенной по расходам, большим нуля, к расчетной, отвечающей всей совокупности наблюдений (включающей и нулевые), осуществляют по формуле:

$$p = n_1 p_1 / (n_1 + n_2), \quad (122)$$

где n_1, n_2 – число значений соответственно $Q_{\min} > 0$ и $Q_{\min} = 0$; p_1 – обеспеченность (%) минимальных расходов по кривой, построенной по значениям $Q_{\min} > 0$.

Делается это так. Задаются несколькими произвольными расходами $Q_{\min}$ и находят по построенной кривой обеспеченности соответствующие им значения p_1 . Затем по формуле (122) определяют обеспеченности этих расходов с учетом нулевых значений и строят кривую обеспеченности минимальных расходов для всей совокупности наблюдений. Эта кривая и используется для определения расчетных минимальных расходов.

При недостаточности данных гидрометрических наблюдений параметры кривой обеспеченности минимального стока приводят к многолетнему периоду по рекам-аналогам способами, изложенными в лекции № 10 (раздел 10. 2. 2). При выборе аналога особое внимание должно быть уделено сходству гидрогеологических условий и близости размеров рассматриваемых речных бассейнов.

17. 4. Определение расчетных минимальных расходов воды при отсутствии гидрометрических данных

Процесс формирования минимального стока на больших, средних и малых реках имеет ряд особенностей, поэтому и способы определения расчетных минимальных расходов для малых рек отличаются от расчета больших и средних.

К большим, средним и малым относят реки с площадью водосбора соответственно более 75000 км², от 75000 до 10000 и менее 10000 км².

Расчетные минимальные расходы воды (м³/с):

$$Q_p = Q_{80\%} \lambda_p, \quad (123)$$

где $Q_{80\%}$ – минимальный 30-суточный (среднемесячный) расход (м³/с) ежегодной вероятностью превышения $p=80\%$; λ_p – переходный коэффициент от минимального расхода обеспеченностью 80% к расходу другой обеспеченности; определяют по таблице, приведенной в СП 33-101-2003.

Для больших и средних рек минимальный 30- суточный расход (м³/с):

$$Q_{80\%} = 10^{-3} q_{80\%} F \quad (124)$$

где $q_{80\%}$ – минимальный 30- суточный модуль стока ежегодной вероятностью превышения 80%, л/(с км²); F – площадь водосбора, км².

Минимальный 30-суточный модуль стока воды обеспеченности 80% за летне-осенний и зимний периоды находят по рекам – аналогам или по картам СП 33-101-2003 для центра тяжести расчетного бассейна путем интерполяции между изолиниями стока.

Для малых рек с площадью водосбора меньшей, чем указано в таблице 17. 4. 1, но не менее 20 км² для увлажненных районов и 50 км² для районов недостаточного увлажнения минимальный 30- суточный расход 80% обеспеченности определяют по эмпирической формуле (м³/с):

$$Q_{80\%}=10^{-3} a (F + f_0)^n \quad (125)$$

где a , f_0 , n - параметры, определяемые в зависимости от географических районов по таблице СП 33-101-2003; F - площадь водосбора реки, км².

Таблица 7. Наибольшие площади (км²) водосбора малых рек

Районы по картам СП 33-101-2003	Летне-осенний период	Зимний период	Районы по картам СП 33-101-2003	Летне-осенний период	Зимний период
А	1200	1200	Г	2500	2000
Б	1500	1500	Д	5000	2500
В	2000	1800	Е	10000	5000

Вопросы для самоконтроля

1. Общие сведения о минимальном стоке.
2. Особенности формирования минимального стока.
3. Условия формирования минимального стока.
4. Определение расчетных минимальных расходов воды при наличии гидрометрических данных.
5. Определение расчетных минимальных расходов воды при отсутствии гидрометрических данных.

Список литературы

Основная

1. Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - ISBN 978-5-06-005815-4.
2. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.

Дополнительная

1. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.
2. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004 г.
3. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения», Госстандарт СССР, М., 1988 г.
4. Климатология, метеорология и гидрология. Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Афонин В. В., Желудкова С. В. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 183 с.
5. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
 - <http://library.sgau.ru/>;
 - <http://ru.wikipedia.org>;
 - <http://www.hydrology.ru>.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гидрометрия. Учебное пособие/ И. В. Кожемяченко, Ю. В. Бондаренко, О. В. Гуцол, О. Н. Жихарева. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 160 с. - ISBN 978-5-7011-0603-9.
2. Гидрометрия. Методическое пособие по проведению лабораторных работ/ И. В. Кожемяченко, С. В. Желудкова. - ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2009 – 61 с.
3. Захаровская Н. Н. Метеорология и климатология / Н. Н. Захаровская, В. В. Ильинич. – М.: Колос, 2005. 127 с.: ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). - ISBN 5-9532-0136-2.
4. Бондаренко, Ю. В. Гидрология, климатология и метеорология. [Текст]: учеб. пособие / Бондаренко Ю. В., Фисенко Б. В., Афонин В. В., Левицкая Н. Г. - ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ»; Саратов, 2016 – 292 с.
5. Михайлов В. Н. Гидрология: Учебник для вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский, С. А. Добролюбов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 463 с. - ISBN 978-5-06-005815-4.
6. Метеорология и климатология. Методические указания к расчетно-графическим работам./ С. В. Желудкова, Д. С. Майорова. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2010 – 68 с.
7. Метеорологические наблюдения (Организация, производство, анализ). Учебное пособие / Бондаренко Ю. В., Желудкова С. В., Левицкая Н. Г., Киселева Ю. Ю. – Издательский центр «Наука». – Саратов, 2012. – 61 с.
8. Методы полевых гидрологических и метеорологических исследований: Учебное пособие/ Ю. В. Бондаренко. – 2-е изд. доп. и исп. – Саратов: Издательский центр «Наука», 2011. – 202 с. - ISBN 978-5-9999-0885-8.
9. Основы агрометеорологии. Учебное пособие. / Н. Г. Левицкая, Ю. В. Бондаренко. – Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2012. – 150 с. - ISBN 978-5-91879-163-9.
9. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология», Госстрой РФ, 1999 г.
10. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства», Госстрой РФ, 1997 г.

11. СП 33-101-2003 «Определение основных гидрологических характеристик», Госстрой России М., 2004 г.

12. ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения», Госстандарт СССР, М., 1988 г.

13. Хромов С. П., Петросянц М. А. Метеорология и климатология / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд. МГУ, 2004. 582 с. - (Классический университетский учебник). - ISBN 5-211-04847-4. - ISBN 5-9532-0267-9.

14. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы, поисковые системы Rambler, Yandex, Google:

- <http://library.sgau.ru/>;

- dic.academic.ru;

- <http://ru.wikipedia.org>;

- <http://www.hydrology.ru>.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Лекция 1. Предмет, цели и задачи курса «Климатология и метеорология»	4
1. 1. Предмет и задачи курса «Климатология и метеорология»	4
1. 2. Состав и строение атмосферы	5
Лекция 2. Радиационный режим атмосферы	7
2. 1. Солнечная радиация и радиационный баланс земной поверхности	7
2. 2. Тепловой режим атмосферы	8
2. 3. Характеристики влажности воздуха. Осадки и снежный покров	9
Лекция 3. Общая циркуляция атмосферы. Прогноз погоды	12
3. 1. Атмосферное давление. Циклоны и антициклоны	12
3. 2. Ветер и воздушные течения в атмосфере	13
3. 3. Воздушные массы атмосферные фронты	13
3. 4. Прогноз погоды	15
3. 5. Опасные явления погоды	16
Лекция 4. Климат и факторы его формирования	19
4. 1. Основные факторы климатообразования	19
4. 2. Понятие макро-, мезо- и микрорельефа	20
4. 3. Классификация климатов	21
4. 4. Климатические пояса Земного шара и России	22
4. 5. Антропогенное влияние на климат	23
Лекция 5. Предмет и задачи курса «Гидрология»	26
5. 1. Предмет гидрологии. Значение гидрологии для экономики страны. Связь с другими науками	26
5. 1. 1. Предмет гидрологии	26
5. 1. 2. Связь гидрологии с другими науками	27
5. 2. Краткие исторические сведения о развитии гидрологии	28
5. 3. Тепловой и водный балансы	30
5. 3. 1. Водные ресурсы Земли	30
5. 3. 2. Круговорот воды в природе	31

5. 3. 3. Тепловой и водный балансы	32
5. 4. Гидрологический режим и его характеристики	33
Лекция 6. Речная система	36
6. 1. Речная система и ее гидрографические характеристики	36
6. 2. Водосбор и бассейн реки	37
6. 3. Долина и русло реки	38
6. 4. Продольный профиль реки	39
6. 5. Поперечный профиль реки. Поперечная циркуляция	40
Лекция 7. Организация и методы гидрометрических изысканий	43
7. 1. Предмет и задачи гидрометрии	43
7. 2 Организация и методы гидрологических исследований	43
7. 3. Наблюдения за уровнями воды	44
7. 4. Измерение глубин	46
Лекция 8. Скорость течения воды	49
8. 1. Измерение скоростей течения воды	49
8. 2. Измерение расходов воды	52
8. 3. Определение зависимости между расходами и уровнями воды	54
8. 4. Измерение расходов воды на гидромелиоративных системах	55
Лекция 9. Водная эрозия, речные наносы, русловые процессы	57
9. 1. Водная эрозия	57
9. 2. Речные наносы: виды, порядок расчета	57
9. 3. Русловые процессы	62
Лекция 10. Генетические и стохастические методы. Их применение в гидрологических расчетах	65
10. 1 Общие сведения о гидрологических расчетах	65
10. 2. Норма годового стока	66
10. 2. 1. Вычисление нормы годового стока при наличии гидрометрических данных ...	66
10. 2. 2. Вычисление нормы годового стока при недостаточности гидрометрических данных	67
10. 2. 3. Вычисление нормы годового стока при отсутствии гидрометрических данных	70
Лекция 11. Эмпирические и аналитические кривые обеспеченности	72
11. 1. Использование методов теории вероятности и математической статистики	72
11. 2. Изменчивость годового стока	72
11. 3. Обеспеченность гидрологической характеристики	73
11. 4. Кривые распределения. Кривые обеспеченности	74
Лекция 12. Параметры аналитических кривых распределения (обеспеченности)	77
12. 1. Аналитические кривые обеспеченности	77
12. 2. Определение параметров аналитических кривых обеспеченности стока	78
Лекция 13. Внутригодовое распределение стока	81
13. 1. Общие сведения	81
13. 2. Расчет внутригодового распределения стока при наличии данных гидрометрических наблюдений	82
Лекция 14. Методы расчета внутригодового распределения стока	86
14. 1. Метод реального года	86
14. 2. Построение кривой обеспеченности суточных расходов воды	86

14. 3. Расчет внутригодового распределения стока при отсутствии или недостаточности данных гидрометрических наблюдений	87
Лекция 15. Максимальный сток рек. Расчетные максимальные расходы воды...	89
15. 1. Общие сведения	89
15. 2. Особенности формирования максимального стока	89
15. 3. Расчетные максимальные расходы воды	90
15. 4. Расчет максимального расхода воды при наличии данных гидрометрических наблюдений	91
Лекция 16. Определение максимальных расходов талых вод при недостаточности или отсутствии данных наблюдений	94
16. 1. Расчет максимальных расходов талых вод при отсутствии данных гидрометрических наблюдений	94
16. 2. Расчет максимальных расходов дождевых паводков при отсутствии данных гидрометрических наблюдений	96
16. 3. Расчетные гидрографы половодья и дождевых паводков	98
Лекция 17. Условия формирования и особенности расчета минимального стока рек . Определение расчетных минимальных расходов воды при наличии гидрометрических данных.....	100
17. 1. Общие сведения	100
17. 2. Особенности и условия формирования минимального стока	100
17. 3. Определение расчетных минимальных расходов воды при наличии гидрометрических данных	102
17. 4. Определение расчетных минимальных расходов воды при отсутствии гидрометрических данных	103
Библиографический список.....	106
Содержание.....	107