Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

**ИРКУТСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ**

***Практические работы по гидрометрии***

**Вычисление стока воды и стока наносов**

Выполнила:

студентка группы Г-4а

Балакина М.В.

Проверил:

Дробот В.В.

Иркутск 2007

**1. Вычисление стока воды**

**1.1 Построение кривой расходов воды**

При устойчивом незаросшем русле и отсутствии переменного подпора между расходами и уровнями воды существует однозначная зависимость, при которой определенному значению уровня соответствует только одно значение расхода воды. В этом случае, имея достаточное количество расходов воды, измеренных при различных уровнях, можно установить зависимость между этими элементами и определить значение расхода за каждый день по наблюденным на водомерном посту уровням. Связь между расходами и уровнями воды обычно устанавливается графически в виде кривой Q=f(Н).

Чтобы установить характер связи между расходами и уровнями, необходимо тщательно проверить и проанализировать исходные материалы. К ним относятся: 1) таблица «Измеренные расходы воды» (ИРВ); 2) таблица «Ежедневные уровни воды» (ЕУВ); 3) совмещенные профили поперечных сечений по гидрометрическому створу; 4) план участка поста; 5) поперечный профиль по гидроствору до уровня высоких вод; 6) техническое дело поста; 7) литературные и архивные материалы, характеризующие режим реки на участке гидрометрического створа.

Анализ материалов наблюдений следует начинать с таблицы ИРВ; при этом нужно произвести: 1) арифметическую проверку величин средней скорости и средней глубины; 2) проверку соответствия уровня воды в день измерения расхода уровню того же дня в таблице ЕУВ; 3) сопоставление записей о состоянии реки в таблице ИРВ с теми же данными в таблице ЕУВ.

Так как для каждого расхода воды имеем равенство Q=FƯср, то оказывается удобным производить дальнейший анализ измеренных расходов производить графическим путем. На листе миллиметровой бумаги строят три кривые: кривую расходов воды Q=f(Н), кривую площадей поперечных сечений F= f(Н) и кривую средних скоростей Ưср= f(Н). При построении кривых по вертикальной оси откладываются уровни для всех трех элементов в одном масштабе, а по горизонтальной оси – расход воды, площадь поперечного сечения и средняя скорость. Посредине полосы нанесенных точек (Q, H), (F,H), (Ưср,H) проводятся плавные кривые Q=f(Н), Q=f(Н) и Ưср= f(Н).

Свойства кривых: 1) кривая расхода должна быть выпуклой к оси ординат; 2) кривая площади должна быть выпуклой к оси уровней; 3) кривая скорости может иметь различную форму; 4) в местах резкого перелома поперечного сечения – изменяется форма кривой.

В результате анализа материалов наблюдений выясняются особенности режима реки и выбираются способы вычисления ЕРВ.

**1.2 Увязка кривых**

Чтобы произвести увязку трех кривых, через каждые 10% амплитуды уровня, а на более изогнутых отрезках чаще с кривых снимаются значения расходов воды, площадей и скоростей и подставляются в формулу Q=F Ưср. если расхождение между произведением F Ưсри расходом, снятым с кривой, не более 1%, то кривые проведены правильно. В противном случае необходимо исправить те кривые, которые отклоняются от среднего положения. Обычно требуется несколько раз вводить исправления и увязывать кривые.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Н, см | Q,м3/сс кривой | F, м2 | Ưср, м/с | Q=F Ưср, м3/с | Расхождение∆Q% |
|  |  |  |  |  |  |

**1.3 Построение таблицы координат**

Для подсчета средних суточных расходов воды составляется таблица координат КР. Сначала в ее нулевую графу выписываются координаты опорных точек, за которые принимаются значения расходов, снятые с кривой Q=f(Н) при высшем и низшем уровнях, и значения расходов через 2,1 или 0,5 см на графике (в зависимости от кривизны отдельных участков кривой и масштаба уровня). Обычно значения расходов снимаются с кривой через интервалы уровня от 5 до 20 см, а при мелком масштабе и при пологой кривой эти интервалы можно увеличить до 50 см. затем путем линейной интерполяции вычисляются промежуточные значения расходов для каждого сантиметра уровня. Расходы, вычисленные путем интерполяции, не должны отклонятся от кривой более чем на 1,5% в верхней и средних частях и на 3% в ее нижней части. При снятии координат опорных точек необходимо следить, чтобы приращение расхода для каждого последующего интервала уровня было больше предыдущего или оставалось без изменения. ЕРВ определяются непосредственно по этой таблице как значения, отвечающие среднему суточному уровню, который принимается по таблице ЕУВ.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Н, см | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**1.4 Проверка зависимости Q=f(Н)**

Ее выполняют двумя способами:

1.среднее вероятное отклонение от кривой расхода: производится по всем измеренным расходам,

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Изеренные | Q2 м3/с по расчетной таблице | ∆ Q= Q1- Q2 | ∆ σ=∆ Q/ Q1\*100% | ∆ σ2 |
| Н,см | Q1 м3/с |
|  |  |  |  |  |  |

по формуле

**σ=±0,674√∑(∆ σ)2/n,**

где ∆ σ **–** отклонения, %; n- число измеренных расходов. Полученную зависимость Q=f(Н) можно считать надежной, если среднее вероятное отклонение находится в пределах 2-4%.

2. обеспеченность отклонений измеренных расходов:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| пределы отклонений, % | Число случаев | обеспеченность |
| абс. | % | абс. | % |
|  |  |  |  |  |

Найденная зависимость Q=f(Н) может считаться надежной, если число случаев отклонений расходов в пределах 0-5 или 0-10% близко к 90%- ной обеспеченности.

**1.5 Правила построения кривой**

Кривая расходов воды Q=f(Н) строится на миллиметровой бумаге в прямоугольной системе координат совместно с кривыми F=f(Н) и Ưср= f(Н). масштабы для построения кривых подбираются в зависимости от амплитуды уровней, расходов, площадей и скоростей течений с таким расчетом, чтобы хорда кривой расходов расположилась примерно под углом 450, а хорды кривых площади и средних скоростей под углом 600 к оси абсцисс. Чтобы кривые не пересекались, нули шкал площадей и скоростей сдвигают вправо. Точки с координатами (Q, H), (F,H), (Ưср,H) обводится кружками диаметром 1,5-2 мм; против точек расходов на расстоянии 3-5 см от них (по горизонтали) выписываются даты измерения. Кривая расходов воды проводится по средине полосы рассеивания точек (Q, H) сначала от руки, а затем по лекало. При наличии большого количества измеренных расходов кривая Q=f(Н) может быть проведена по центрам тяжести групп точек. Таким же способом проводятся кривые площади и скорости.

Если на участке гидрометеорологического створа при определенном уровне начинают действовать пойма, протоки и рукава, то кривые для них строятся отдельно, а затем вычисляется суммарная кривая Q=f(Н). Значения расходов для этих кривых получаются суммированием расходов, снятых с кривых для основного русла, поймы, притоков при одной высоте уровня для всех кривых.

При значительной амплитуде расходов, когда отношения наибольшего расхода к наименьшему составляет 20 и более, нижняя часть кривой расходов в пределах 20-30% амплитуды уровней вычерчивается в увеличенном масштабе (обычно в 5-10 раз крупнее). Такое построение позволяет вычислить сток воды при низких уровнях значительно точнее.

**1.6 Экстраполяция кривых расходов**

Экстраполяция вверх:

1. *непосредственным продолжением* обоснованной части кривой вверх до 10% амплитуды колебаний уровня;
2. *по элементам расхода* производится с помощью кривых площади и средней скорости. Сначала достраивается до высшего уровня кривая площадей. Площади в пределах экстраполируемого участка определяются по профилю поперечного сечения. затем экстраполируем кривая скоростей соответственно направлению обоснованной части с учетом шероховатости склонов берегов. После этого для разных уровней в пределах экстраполируемого участка с кривых F=f(Н) и Ưср= f(Н) снимаются значения F и Ưср; необходимые для экстраполяции расходы воды вычисляются по формуле Q=F Ưср. Точки (Q, H) наносятся на график и по ним кривая расходов плавно продолжается до высшего уровня;
3. *по способу Стивенса* применяется для больших равнинных рек с правильной корытообразной формой русла при средней глубине в пределах экстраполируемого участка не менее 3,5-4 м. Основан на том, что кривую расходов воды можно изобразить линией, близкой к прямой, если выразить зависимостью Q=f(F√hср), где F- площадь водного сечения; hср – средняя глубина. Зависимость вида Q=f(F√hср) может быть получена из формулы Q=FC√RI=F√RC√I;
4. *по способу Стивенса- Великанова* применяется, когда поперечный профиль русла при высоких уровнях имеет резкие переломы. Зависимость Q=f(F√hср) может быть представлена в виде Q=f(Bh3/2ср), что также выражается прямой линией, но переломы в профиле не изменяют ее направления;
5. *по формуле Шези* применяется при наличии надежных измерений и продольных уклонов водной поверхности и дает хорошие результаты для больших равнинных рек со средней глубиной более 3,5-4 м. Расход вычисляется по формуле Q=F Ưср. площадь поперечного сечения при этих уровнях определяется по поперечному профилю гидрометрического створа, а средняя скорость вычисляется по формуле Шези Ư=C√RI, принимая гидравлический радиус равный средней глубине, получим Ư **=**C√hсрI. Для определения значений C и I строятся зависимости I=f(H) и C=f(H). Кривая I=f(H) проводится по значениям измеренных уклонов, а для построения графика C=f(H) нужно с обоснованной измерениями части кривой Ưср= f(Н) для четырех-пяти наиболее высоких уровней снять значения средней скорости, тогда С вычислим по формуле С= Ưср**/**√hсрI. Значения I при выбранных уровнях снимается с кривой I=f(H), а hср вычисляется как частное от деления площади поперечного сечения на ширину реки. По вычисленным значениям С строится кривая C=f(H).

Экстраполяция вниз:

1. *непосредственным продолжением* обоснованной части кривой до 5% амплитуды уровня;
2. *по элементам расхода;*
3. *по отметке нулевого расхода воды,* когда аналитическая зависимость Q(H) представлена формулой В.Г.Глушкова, Q=a(H-H0)m  действительной вплоть до нулевого расхода Н0.

**1.7 Вычисление стока при ледовых образованиях**

1. Интерполяция. Этот способ применяется при значительном количестве измеренных расходов, равномерно освещающих весь зимний период. При использовании этого приема на комплексном графике по измеренным расходам строится гидрограф, с которого снимаются расходы за каждый день. При проведении гидрографа следует учитывать ход гидрометеорологических элементов, нанесенных на комплексном графике.
2. По зимнему переходном коэффициенту (Кзим). Следует производить при отсутствии заторно-зажорных явлений. Кзим=Qзим/Qсв, Qзим- измеренный зимний расход при уровне Нзим; Qсв –расход, полученный по таблице координат для кривой Qсв=f(Н) при уровне Нзим. Qзим= Qсв\* Кзим. Кзим колеблется от 0,15 до 1,00; при Кзим=1,0 зимний расход ложится на кривую расходов свободного русла, что возможно или при отсутствии ледовых образований, или при незначительном их влиянии на режим расходов и уровней.
3. По Кзим с учетом степени стеснения живого сечения потока ледяными образованиями. При недостаточном числе измерений расходов в период ледостава график Кзим=f(Т) можно уточнить путем использования зависимости между коэффициентом Кзим и коэффициентом α, α=Fполн-Fпл/Fполн, Fполн- площадь поперечного сечения; Fпл- площадь погруженного льда. Имея Кзим=f(α) и сведения о толщине льда, можно вычислить значения α для любого дня, и тогда промежуточные значения Кзим могут быть определены по указанной кривой.
4. Срезка уровней за подпорный период. На графике колебания уровней рассматриваемого поста пунктирной линией соединяется начало и конец подпорного периода. По срезанным таким образом уровням ЕРВ вычисляются или по Кзим, или по зимней кривой расходов.

**1.8 Вычисление стока при зарастании русла**

1. По переходному коэффициенту зарастания. Кзар= Qзар/ Qсв, Qзар- расход, измеренный при уровне Нзар; Qсв- расход, снятый с кривой свободного русла при том же уровне. Значение Кзар изменяются обычно от 0,15 до 1,00. для вычисления ЕРВ по наблюденным уровням за период зарастания по таблице координат кривой Qсв=f(Н) берутся значения Qсв, а с графика Кзар=f(Т) снимаются соответственные значения Кзар. Qзар= Qсв \* Кзар.
2. По временным кривым зарастания. А) однозначные временные кривые, плавные, выпуклые к оси уровней. Б) переходные временные кривые, выражающие неустойчивую связь между расходом и уровнем.
3. По интерполяции. При наличии значительного количества измеренных расходов, освещающих все дождевые паводки и периоды низкого стояния уровней, сток вычисляется путем графической интерполяции между измеренными расходами.

**1.9 Вычисление стока при переменном подпоре**

* 1. По интерполяции. Применяют при быстро изменяющемся подпоре. Ежедневные расходы воды вычисляются путем прямолинейной или криволинейной (графической) интерполяции между измеренными расходами воды.
	2. По временным кривым. Этот способ применяют при медленно изменяющемся подпоре. Временные кривые в условиях переменного подпора выражают неустойчивую связь между расходом и уровнем. Кривые строятся по датам.
	3. Срезка подпорных уровней. Если подпор проявляется в виде кратковременного резкого подъема уровня без значительного изменения водности реки, то осуществляется простая срезка подпорных уровней. Для этого вычерчивается график колебаний уровня воды, начало и конец подпорного периода на графике соединяются плавной кривой или прямой линией. ЕРВ вычисляются по кривой устойчивой связи Qсв= f(H) с использованием срезанных или восстановленных уровней.
	4. Построение кривой модулей расходов. Данный способ применяется при наличии надежных измерений уклонов водной поверхности. Модуль расхода вычисляется по формуле К=Q/√I. В большинстве случаев при одной и той же высоте уровня значение модуля расхода остается постоянным при изменениях уклона. Поэтому, если вместо точек (Q,H) нанести на график значения модуля расхода, (К,Н) расположатся узкой полосой и проводим кривую К=f(Н), называемую кривой модулей расходов. Для каждого измеренного расхода вычисляются значение модуля расхода по которым строится кривая К=f(Н). Затем по наблюденным уровням с кривой снимаются значения модуля расхода для каждого дня и ЕРВ вычисляются по формуле Q=K√I.
	5. Построение семейства кривых. Применяется при непрерывно действующих и резко изменяющихся подпорах, вызывающих значительный разброс точек (Q,H). Для построения семейства кривых значения всех измеренных расходов наносятся на график и около каждой точки выписывается величина уклона или падения уровня. Затем в поле точек через равные интервалы уклонов проводятся плавные кривые расходов с выпуклостью к оси уровня. ЕРВ определяются непосредственно по семейству кривых. Для этого вычисляется значение уклона и с соответствующей данному уклону кривой по наблюденному уровню снимается величина расхода воды.

**1.10 Вычисление стока при неустойчивом русле**

1. По временным кривым. . А)однозначные временные кривые, плавные, выпуклые к оси уровней. Б)переходные временные кривые, выражающие неустойчивую связь между расходом и уровнем.
2. Способ Стаута . При непрерывной и периодической деформациях, когда частые паводки затрудняют проведение временных кривых. Значения измеренных расходов воды наносятся на график и посредине поля точек проводится плавная кривая расходов, называемая стандартной кривой. Для каждого измеренного расхода вычисляется поправка Стаута, по формуле ∆Н=Н1-Н2 , где Н1 – уровень, снятый со стандартной кривой, Н2- уровень, измеренный при определении расхода воды. Эти поправки имеют положительный знак, если расход расположен ниже стандартной кривой и соответствует размыву русла, и отрицательный знак, если расход расположен выше кривой и соответствует намыву русла. По найденным значениям ∆Н строится хронологический график поправок ∆Н **=**f(Т), на котором по горизонтали откладываются даты измерения расхода, а по вертикали значения поправок («+» - вверх от нулевой линии, «-» - вниз). График строится в виде плавной кривой, проведенной так, чтобы точки поправок распределились равномерно по обе ее стороны. По графику ∆Н **=**f(Т) определяются значения поправок для каждого дня и исправляются средние суточные уровни Ниспр=Низм±∆Н. По исправленным уровням из таблицы координат стандартной кривой берется значение расхода воды.
3. Приведение кривой расходов к основному сечению. Когда деформации русла носят характер вертикального его смещения без изменения продольного уклона водной поверхности. Из всех профилей гидроствора выбирается одно поперечное сечение, по очертанию более близкое к среднему профилю. По нему определяются значения площадей водных сечений при разной высоте уровня. По вычисленным значениям площадей строится кривая F=f(H). К полученным точкам определяются поправки уровня ∆Нна деформацию русла аналогично вычислению поправок Стаута. Строится хронологический график. Вычисление ЕРВ производится аналогично вычислению по способу Стаута.
4. Интерполяция.

**1.11 Гидрологический анализ сведений о стоке воды**

Для того чтобы убедится в отсутствии ошибок, допущенных при измерении расходов и подсчете стока, необходимо проанализировать полученные сведения о стоке воды.

Анализ следует начинать с рассмотрения комплексного графика результатов гидрометеорологических наблюдений. В процессе анализа прослеживается характер колебаний расходов воды с учетом данных гидрометеорологической обстановки (осадки, ледовые явления), и других факторов, влияющих на режим стока.

Дальнейший анализ проводится по совмещенным гидрографам, построенным для постов, расположенных на одной реке. Графики колебаний расходов воды для всех постов вычерчиваются на одной общей оси времени и в одном масштабе расходов. Анализ по совмещенным гидрографам заключается в сопоставлении хода изменения расхода воды по смежным постам.

Наиболее надежные результаты анализа получаются путем увязки средних годовых значений расхода по длине реки в гидрографических узлах. Гидрографический узел представляет собой часть бассейна реки, включающего посты, расположенные на главной реке ниже впадения притока. Анализ основан на том, что расход воды увеличивается вниз по течению и расход в створе ниже слияния двух рек равен сумме расходов этих рек.

Анализ заключается в следующем. Сумма средних годовых значений расходов главной реки и притока сравнивается с расходом главной реки в замыкающем створе. Если боковая приточность на рассматриваемом участке учтена в достаточной мере, то значения этих расходов должны мало отличаться. При неполном учете боковой приточности для увязки стока вычисляется приращение расхода на участке, равное разности между суммарным расходом главной реки и притока и расходом замыкающего створа. Полученная разность сравнивается с расходом воды, вычисляемым для неучтенной измерениями площади по модулю стока. Для определения этого расхода вычисляется приращение площади на участке, сток с которого не учтен измерениями, и для этой площади с карты с карты снимается значение среднего годового модуля стока. Расход воды после этого вычисляется как произведение приращения площади на модуль стока. Расхождение между расходом, вычисленным как приращение, и расходом, определенным по модулю стока, не должен превышать 15-20% суммарного расхода главной реки и притока.

После проведенного анализа средних годовых расходов воды следует сопоставить для смежных постов значения месячных модульных коэффициентов *М*, которые вычисляются как отношение среднего расхода за каждый месяц к среднему годовому. По вычисленным значениям модульных коэффициентов строятся хронологические графики *М=f(Т)*, совмещенные по ряду водомерных постов.

**2. Вычисление стока наносов**

**2.1 Вычисление стока взвешенных наносов**

Исходными данными для вычисления стока взвешенных наносов служат:

* Мутности контрольных единичных проб воды ρед.контр, взятых во время измерения расхода взвешенных наносов;
* Мутности ежедневных единичных проб воды ρед.;
* Средние мутности реки ρср., полученные в результате измерения расхода наносов;

Расходы воды, взятые из таблицы ЕРВ (средние за сутки, пентаду и декаду).

* 1. По мутностям единичных проб: значения мутности единичных проб приводятся к средней мутности живого сечения и расход взвешенных наносов после этого вычисляется как произведение расхода воды на среднюю мутность реки. Строится график связи ρср.=f(ρед.контр). затем определяется К= ρср/ ρед.контр. Вычисленные значения декадных расходов взвешенных наносов заносятся в таблицу «Средние расходы взвешенных наносов», помещаемую в гидрологический ежегодник.
	2. вычисление стока по графику зависимости между расходами воды и взвешенных наносов: этот способ применяется преимущественно для больших и средних рек с ярко выраженными весенним половодьем при частом измерении расходов взвешенных наносов, достаточно подробно освещающих все фазы режима стока воды и наносов. Строится график зависимости между расходом воды и расходом взвешенных наносов R=f(Q). Имея этот график, устанавливают период действия каждой ветви этой кривой и величину расхода взвешенных наносов за каждый день снимают непосредственно с кривой R=f(Q) по значениям ежедневных расходов воды.
	3. вычисление стока взвешенных наносов для периода межени при малой мутности: если в периоды устойчивой летней и зимней межени средняя мутность реки не превышает 50г/м3, а сток взвешенных наносов за эти периоды составляет не более 5 % годового стока наносов, то расходы взвешенных наносов в межень после трех – пяти лет наблюдений можно не измерять. Подсчет годового стока наносов в этом случае производится следующим образом. По данным не менее чем за три – пять лет полных наблюдений устанавливается, какая часть годового стока наносов приходится на периоды межени. Зная долю меженного стока наносов и значение суммарного стока за остальной период, можно вычислить сток за все месяцы, когда измерения не производились.

**2.2 Гидрологический анализ сведений о стоке наносов**

Для того чтобы установить отсутствие ошибок в вычисленных значениях стока наносов и определить характерные черты режима наносов, необходимо произвести анализ полученных данных. Анализ состоит в сопоставлении характеристик стока взвешенных наносов по длине реки и по всему бассейну. Для проведения анализа строятся следующие графики:

1. график зависимости между средними годовыми значениями расхода взвешенных наносов и расходом воды Rср.год.=f(Q ср.год.) за весь период наблюдений.
2. график связи между средними годовыми значениями расхода взвешенных наносов данного поста и соседних постов, расположенных в однородных условиях формирования стока наносов.
3. хронологический график хода средних мутностей ρср.мес=f(Т) для смежных постов, расположенных на главной реке и притоках. Значение средней месячной мутности вычисляется по формуле:

**ρср.мес= Rср.мес1000/ Q ср.мес.**

1. график изменения характерных значений мутности по длине главной реке и ее притоков ρ =f(L).