

Расход воды округляют до трех значащих цифр. При расходе воды (наносов) более $100 \text{ м}^3/\text{с}$ записывают только целые числа (например, 235, 1250, $13400 \text{ м}^3/\text{с}$). В диапазоне $10 \dots 100 \text{ м}^3/\text{с}$ – округляют до десятых долей (например, 10,5; 95,1 $\text{м}^3/\text{с}$). В диапазоне $0,01 \dots 10 \text{ м}^3/\text{с}$ – округляют до сотых (например, 9,81; 1,05; 0,15 $\text{м}^3/\text{с}$). При очень малых значениях (сотые и тысячные доли) – до одной-двух значащих цифр (например, 0,025; 0,002 $\text{м}^3/\text{с}$), но не точнее $0,001 \text{ м}^3/\text{с}$.

В зависимости от значений модуль стока можно записывать с точностью от целых до сотых долей, но не точнее $0,01 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$. При модуле стока до $10 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ – с точностью до сотых долей (например, 0,05; 0,25; $1,25 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$), а при больших значений – с точностью до десятых или целых (например, 10,5; $22 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$).

Слой стока обычно округляют до двух-трех значащих цифр (например, 85; 255 мм).

Объем стока воды округляют до трех значащих цифр при множителе 10^6 (например, $45,6 \cdot 10^6$; $256 \cdot 10^6$; $1120 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{сут}$). Объем стока наносов при таком же множителе можно округлять до сотых (например, $0,02 \cdot 10^6$; $0,95 \cdot 10^6 \text{ т}/\text{год}$).

2.3. Анализ гидрометеорологической информации

Для расчета гидрологических характеристик используют данные наблюдений прежде всего на станциях и постах Госкомгидромета и, при необходимости, данные других ведомств, инженерно-гидрометеорологических изысканий (экспедиционные), литературные и архивные материалы, особенно за периоды до начала систематических гидрометеорологических наблюдений в исследуемом регионе. Наиболее надежными можно считать данные, публикуемые в изданиях Госкомгидромета, особенно после 60-х годов (в это время производилась их массовая проверка). Однако при необходимости, особенно при использовании архивных материалов, данные гидрометрических наблюдений надо проверять по следующей схеме:

1) полноту и надежность наблюдений за уровнями и расходами воды, наличие данных о наивысших (мгновенных и средних суточных) и наинизших уровнях воды за время наблюдений при свободном ото льда русле, ледяном покрове, ледоходе, заторе льда, заросшем водной растительностью русле, подпоре от нижерасположенной плотины, сбросах воды выше гидрометрического створа и др.;

2) увязку высотных отметок гидрологических постов и уровней за весь период наблюдений;

- 3) увязку годового и сезонного стока воды, максимальных и минимальных расходов и уровней воды в пунктах наблюдений по длине реки;
- 4) полноту учета стока воды на поймах и в протоках;
- 5) обоснованность способа подсчета стока воды по осредненным или ежегодным кривым расходов воды или же другими методами;
- 6) обоснованность экстраполяции кривых расходов воды до наивысших и наименьших уровней воды и точность расчета стока воды по кривым расходов воды за сутки, месяц, сезон и год;
- 7) необходимость восстановления наблюдений, пропущенных за отдельные годы (месяцы, сутки);
- 8) точность расчетов стока воды за зимний и переходные периоды, обоснованность принятых при расчете стока воды коэффициентов, учитывающих зарастание русла водной растительностью, правильность учета деформации русла и переменного подпора;
- 9) однородность данных наблюдений;
- 10) частоту наблюдений, обеспечивающую регистрацию наивысшего и наименьшего уровней и расходов воды.

Если нельзя уточнить данные гидрометрических наблюдений низкого качества, то их исключают из расчетного ряда. В необходимых случаях пересчитывают сток воды за отдельные годы.

Основными статистическими параметрами и характеристиками, используемыми в гидрологических расчетах и применяемыми при анализе гидрометеорологической информации, являются:

- 1) математическое ожидание (среднее арифметическое);
- 2) коэффициенты вариации (изменчивости) и асимметрии;
- 3) среднеквадратическое отклонение (погрешность);
- 4) коэффициенты корреляции и автокорреляции;
- 5) критерии значимости, применяемые при статистической проверке исходной гидрометеорологической информации.

Одной из основных характеристик гидрологического режима рек является средняя многолетняя величина или *норма стока*. *Нормой годового стока* называется его среднее значение за многолетний период при неизменных географических условиях и одинаковом уровне хозяйственной деятельности в бассейне реки, включающий несколько (не менее двух) четных замкнутых циклов колебаний водности.

При наличии данных гидрометрических наблюдений согласно Пособию к СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик» [Пособие..., 2000] норма годового стока определяется по формуле:

$$\bar{Q} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}, \quad (2.4)$$

где \bar{Q} – норма годового стока, m^3/c ; Q_i – годовые значения стока за длительный период (n , лет), при котором дальнейшее увеличение ряда наблюдений не меняет или мало меняет среднюю арифметическую величину \bar{Q} .

Вследствие недостаточной длины фактических рядов наблюдений за годовым стоком среднее значение полученное по формуле (2.4), отличается от нормы стока, т. е. рассчитывается с некоторой относительной средней квадратической ошибкой

$$\delta_{\bar{Q}} = \frac{C_V}{\sqrt{n}} \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

где C_V – коэффициент изменчивости (вариации) ряда годовых величин стока за n лет, можно определить методом моментов по формуле

$$C_V = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad (2.6)$$

где K_i – модульный коэффициент, определяемый по формуле

$$K_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}. \quad (2.7)$$

Согласно [Пособие..., 2000], продолжительность периода считается достаточной, если рассматриваемый период репрезентативен (представителен), а величина средней квадратической ошибки нормы стока не превышает 10%. При невыполнении этих условий расчетный ряд считается недостаточным и его необходимо привести к многолетнему периоду с привлечением реки-аналога.

Коэффициент корреляции R – мера тесноты связи между рассматриваемыми характеристиками (переменными). Частный коэффициент корреляции изменяется в пределах от -1 до 1 , чем ближе к единице, тем теснее связь.

Коэффициент автокорреляции $r(\tau)$ – характеризует связь ряда гидрологических величин с этим же рядом, сдвинутым на некоторый интервал времени τ . Коэффициент автокорреляции позволяет судить о случайности и независимости значений характеристики ряда. Значения $r(\tau) \leq 0,2$ считаются несущественными.

При водохозяйственном использовании реки необходимо знать не только среднюю величину (норму стока), но и сток различной вероятности превы-

шения (обеспеченности), т. е. возможные его колебания на весь запланированный период службы сооружения.

Для определения годового стока различной вероятности превышения используются кривые распределения или обеспеченности. В общем случае, если рассматривать изменяющийся (вариационный) стоковый ряд, вид кривой обеспеченности зависит от следующих статистических параметров ряда: средней арифметической величины ряда (нормы стока \bar{Q}), коэффициента вариации (C_v) и коэффициента асимметрии (C_s).

Коэффициент вариации (изменчивости) (C_v) – безразмерный статистический параметр, характеризующий изменчивость гидрометеорологической величины относительно ее среднего значения.

Коэффициент асимметрии (C_s) – безразмерный статистический параметр, характеризующий степень несимметричности распределения ряда рассматриваемой гидрометеорологической величины относительно ее среднего значения и который можно определить методом моментов по формуле

$$C_s = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{C_v^3 \cdot (n-1) \cdot (n-2)}. \quad (2.9)$$

Для построения эмпирических (по данным наблюдений) кривых обеспеченности необходимо определить обеспеченность каждого члена стокового ряда. *Ежегодная вероятность превышения (обеспеченность) расхода воды* (P , %) – это вероятность появления расхода равного или превышающего заданное значение. Определяется по формуле

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100, \% \quad (2.10)$$

где m – порядковый номер членов ряда соответствующей гидрологической характеристики, расположенной в убывающем порядке; n – общее число членов ряда.

Чем больше вероятность превышения, тем меньше значение гидрометеорологической характеристики и наоборот.

От обеспеченности можно перейти к *вероятной повторяемости в годах* (N) расхода равного или превышающего заданный, используя следующие формулы:

$$\text{при } P \leq 50\% \quad N = \frac{100}{P}; \quad (2.11)$$

$$\text{при } P > 50\% \quad N = \frac{100}{100 - P}. \quad (2.12)$$

Если по формуле (2.10) вычислить обеспеченность всех членов ряда, расположенных в убывающем порядке, можно по полученным значениям обеспеченности и соответствующим им значениям расходов воды построить эмпирическую кривую обеспеченности. Однако, из-за отсутствия длительных рядов наблюдений, такая кривая не позволяет определить расходы воды редкой повторяемости (1 раз в 100, 500, 1000 лет). Эмпирическую кривую необходимо экстраполировать в верхней и нижней частях значений обеспеченности. Для этой цели используются *теоретические кривые распределения*: трехпараметрическое гамма-распределение и распределение Пирсона III типа.

Для построения теоретических кривых необходимо вычислить коэффициент вариации (C_v) и асимметрии (C_s) по которым рассчитываются ординаты теоретических кривых.

При наличии длительных рядов данных однородных гидрометрических наблюдений СНиП 2.01.14-83 предусматривает следующие методы определения этих коэффициентов: *метод наибольшего правдоподобия, метод моментов, графоаналитический метод Г.А. Алексеева*.

Анализ исходной гидрометеорологической информации при наличии данных наблюдений

Методика расчета основных гидрологических характеристик зависит от вида и объема исходной гидрометеорологической информации. В практике гидрологических расчетов встречаются три случая: достаточный период наблюдений за гидрологическими характеристиками (репрезентативный период), недостаточный период наблюдений и отсутствие данных гидрометрических измерений. При достаточном периоде наблюдений расчеты производят непосредственно по имеющемуся ряду эмпирических значений стока с использованием методов вероятностно-статистического анализа. При недостаточном периоде наблюдений статистические характеристики или данные наблюдений приводят к многолетнему периоду, используя метод гидрологической аналогии и пункты-аналоги с длительным периодом наблюдений. При отсутствии данных гидрометрических наблюдений расчеты производят по формулам и картам, основанным на обобщении данных наблюдений на сети гидрологических станций и постов на обширных территориях, привлекая при необходимости данные инженерно-гидрометрических изысканий и метеорологических наблюдений. При обобщениях используют методы географической интерполяции и гидрологической аналогии.

Для получения достоверных данных наблюдений за водным режимом средних значений стока за многолетний период и расчетных обеспеченных значений вся гидрометеорологическая информация должна подвергаться тща-

тельному анализу, так как статистически обрабатываемые ряды должны быть генетически однородны.

Проследить изменения физико-географических характеристик водосборов под влиянием всего комплекса мероприятий проводимых на водосборе практически невозможно. Наиболее существенное влияние на сток, в целом и максимальные расходы и слои весеннего половодья в частности оказывает изменения водосборной площади.

Анализируя данные, о строительстве мелиоративных объектов и используя обновленные карты масштаба 1:25000 и 1:10000 выполнено уточнение водосборных площадей ряда рек.

Так установлено, что водосборная площадь р. Копаювка – с. Черск изменилась 292 км^2 за 1949 – 1963 гг. 351 км^2 за 1964 – 1965 гг., 409 км^2 за 1966 – 1969 гг., 440 км^2 за 1970 – 1980 гг. Водосборная площадь р. Мухавец для створа г. Брест изменилась от 6810 км^2 в 1955-1969 гг. до 6590 км^2 в 1970 – 1980 гг; р. Рыга для створа Малые Радваничи уменьшилась от 1440 км^2 в 1952 – 1964 гг. до 1200 км^2 в 1965 – 1972 гг, 1170 км^2 в 1973 – 1974 гг., и вновь возросла до 1230 в 1975 – 1980 гг; р. Меречанка на створе д. Красеево выросла от 121 км^2 в 1970 – 1973 гг. до 131 км^2 – в 1974-1980 гг. р. Бобрик для створа Парахонск увеличилась с 1450 км^2 в 1978 г. до 1510 км^2 – в 1978 – 1980 гг.

Если уточненные водосборные площади отличались от опубликованных в справочниках «Ресурсы поверхностных вод СССР» не более чем на $\pm 5\%$, принимались опубликованные данные.

Одновременно уточнялись физико-географические характеристики водосборов такие как длина основного тальвега (она, как правило, уменьшилась за счет спрямления водостоков); заболоченность и залесенность водосбора. В результате осушения болот заболоченность земель повсеместно уменьшилась, а залесенность водосборов в отдельных случаях увеличивалась, за счет новых лесов на площадях выведенных из сельскохозяйственного оборота. Повсеместно увеличивалась густота гидрографической сети за счет мелиоративных каналов. Все эти и другие изменения не могли не повлиять на условия формирования стока.

Надежные данные по стоку за репрезентативный период образуют статистический ряд, у которого среднее значение и коэффициенты вариации и асимметрии являются параметрами кривой обеспеченности. С помощью этих параметров можно определить расчетное (обеспеченное) значение гидрологической характеристики.

Приведение исходной гидрометеорологической информации к расчетному периоду (расчеты при недостаточности данных наблюдений)

Если имеющийся фактический материал не соответствует требованиям, предъявляемым при статистической обработке, то такой ряд гидрометрических наблюдений считают недостаточным. Недостаточность данных обычно связана с коротким периодом наблюдений, не отражающим основной характер колебаний стока во времени. Однако есть случаи, когда и относительно долгий период наблюдений не дает необходимой надежности при расчете гидрологических характеристик, если они испытывают большие колебания во времени. Размах временных колебаний характеристик стока, обусловленных естественными причинами, зависит от степени увлажненности территории: чем меньше средняя увлажненность территории, тем резче колебания стока по годам (и внутри года по сезонам и месяцам) и тем больший период наблюдений нужен для определения их основных закономерностей.

Для надлежащей оценки гидрологические параметры или в целом ряды наблюдений приводят к длительному (достаточному, репрезентативному) периоду. Основой приведения является метод гидрологической аналогии, состоящий в следующем:

1) в подборе к расчетному (неизученному) объекту другого, гидрологически изученного, находящегося в сходных с неизученным физико-географических условиях;

2) в распространении гидрологических характеристик изученного объекта на расчетный объект с вводом поправок на неполную аналогию физико-географических факторов стока. Для расчетов используют обычно один-три пункта гидрологических наблюдений, расположенных на реке или реках-аналогах. Их можно использовать последовательно (парная корреляция) или одновременно (множественная корреляция). Используемый в качестве аналога водный объект должен удовлетворять ряду требований (2.13).

При недостаточности данных гидрометрических наблюдений приведение параметров кривых распределения ежегодных вероятностей превышения гидрологических характеристик к многолетнему периоду с применением парной и множественной регрессии осуществляется при соблюдении следующих условий:

$$n' \geq 10; R \geq 0,7; r \geq 0,7; \frac{k}{\sigma_k} \geq 2, \quad (2.13)$$

где n' – число лет совместных наблюдений в приводимом пункте и пункте-аналоге; R – множественный коэффициент корреляции (r – парный коэффициент корреляции при одном аналоге) между значениями стока в пункте приведения и пунктах-аналогах; k – коэффициент регрессии; σ_k – среднее квадратическое отклонение коэффициента регрессии.

Продление осуществляется с использованием рек-аналогов. В общем виде для m -аналогов уравнение регрессии имеет следующий вид

$$Q = k_0 + \sum_{j=1}^m k_j \cdot Q_{aj}, \quad (2.14)$$

где k_0 , k_j – коэффициенты регрессии, определенные стандартными методами математической статистики; m – количество рек-аналогов.

Выбор одного пункта-аналога осуществляется по вариантам:

- выбирается пункт наблюдений, имеющий более продолжительный период, но меньший коэффициент корреляции со стоком приводимого ряда;
- выбирается пункт с менее продолжительными наблюдениями, но с более тесной связью между величинами стока рассматриваемых рядов.

Если оба варианта удовлетворяют условиям (2.13), то сначала выбираются ряды с наибольшими коэффициентами корреляции, а затем они дополняются рядами с меньшими коэффициентами корреляции, но с большим периодом наблюдений. В общей сложности для каждого восстанавливаемого ряда возможно привлечение до девяти предполагаемых аналогов.

Приведение параметров кривых распределения ежегодных вероятностей превышения расходов воды к многолетнему периоду возможно осуществлять по данным гидрологических наблюдений и погодиочно восстановленным, с помощью уравнений регрессии, значениям расходов воды.

Значения стока, рассчитанные по уравнениям регрессии, систематически преуменьшают размах колебаний рассматриваемой гидрологической характеристики по сравнению с данными наблюдений.

Систематическое преуменьшение дисперсий исключается путем дополнительного расчета годовичных значений Q'_i по формуле

$$Q'_i = \frac{Q_i - \bar{Q}_{n'}}{R} + \bar{Q}_{n'}, \quad (2.15)$$

где Q_i – годовичные значения гидрологической характеристики, рассчитанные по уравнению регрессии; $\bar{Q}_{n'}$ – среднее значение гидрологической характеристики за совместный период наблюдений.

Приведение параметров к многолетнему периоду осуществляется последовательно по нескольким уравнениям регрессии в порядке убывания парного или множественного коэффициентов корреляции при соблюдении требований (2.13).

По восстановленному ряду расходов Q_i совместно с данными наблюдений рассчитываются параметры распределения (\bar{Q}, C_v, C_s) и коэффициент автокорреляции $r(l)$ между значениями стока смежных лет.

Анализ исходной информации по периодам наблюдений (таблица 2.1) показал, что для двух створов (р. Ясельда – с. Мотоль и р. Ясельда – с. Старомлыны) для восстанавливаемого периода (1945 – 2000 гг.) количество исходной гидрологической информации (расходов воды) менее 10 лет, что не позволяет осуществить продление при недостаточности данных гидрометрических наблюдений. Поэтому для продления были оставлены 30 рек-створов. При этом для р. Ясельда – г. Береза не требуется продление ряда, значения за весь исследуемый период представлены измеренными расходами воды.

Приведение к многолетнему единому периоду выполнено путем годовичного восстановления пропущенных (или не достающих) наблюдений по методике ГГИ* в редакции А.А. Волчека разработанной в составе программного комплекса автоматизированных расчетов «Гидролог» по заказу проектного института «Полесьегипроводхоз».

Для сопоставимости получаемых результатов все исследуемые ряды приведены к единому периоду наблюдений, равному 56 лет (1945 – 2000 годы). Продолжительность репрезентативного периода установлена по разностным интегральным кривым с учетом многолетних колебаний исследуемой величины. Продление выполнено для годового, максимального весеннего и минимального летнего речного стока. Результаты продления для годового стока приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Основные характеристики исходных (в числителе) и продленных (в знаменателе) рядов годового стока

Наименование реки – створа	Норма \bar{Q} , м ³ /с	К-т вариации C_v	К-т асимметрии C_s	К-т автокорреляции $r(l)$
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Бобринк – с. Парахонск	5,87/6,13	0,37/0,36	0,17/0,30	0,15/-0,01
Горынь – пос. Горынь	77,2/74,7	0,34/0,29	0,99/1,29	0,12/-0,19
Горынь – гпт. Речица	111/102	0,31/0,33	0,43/0,59	0,09/0,16
Гривда – гпт. Иващевичи	2,78/2,82	0,32/0,27	2,37/1,59	0,08/-0,05
Жабинка – с. Малая Жабинка	0,64/0,61	0,45/0,40	1,09/1,47	0,07/0,08
Жегулянка – с. Нехачево	1,13/0,98	0,31/0,40	1,84/0,98	-0,17/0,08
Каменка – пос. Мухавец	0,31/0,30	0,37/0,47	0,29/1,01	-0,09/0,04
кан. Винец – с. Рыгали	0,74/0,66	0,34/0,44	1,81/1,16	-0,20/0,00
Копаяювка – с. Черск	1,29/1,26	0,56/0,55	0,79/0,88	0,19/0,19

* ГГИ – Государственный гидрологический институт (г. Санкт – Петербург)

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Лесная – с.Замосты	8,42/8,43	0,28/0,28	1,20/1,20	0,16/0,10
Лесная – с. Тюхиничи	10,2/11,4	0,16/0,28	1,38/1,22	0,01/0,16
Малорыта – г. Малорита	1,87/1,89	0,46/0,48	1,31/0,81	-0,04/-0,04
Меречанка – с. Ставок	0,50/0,50	0,32/0,28	1,22/0,44	0,30/0,15
Меречанка – с.Красеево	0,58/0,54	0,28/0,32	0,51/0,52	0,21/0,17
Мухавец – г. Брест	26,2/24,6	0,57/0,54	2,62/2,77	0,14/0,10
Мухавец – г.Пружаны	0,340/0,36	0,41/0,33	1,29/0,99	0,01/0,09
Мышанка – с.Березки	3,70/3,94	0,28/0,34	0,88/0,57	0,45/0,65
Неслуха – с. Рудск	1,40/1,36	0,31/0,40	0,19/1,80	-0,41/-0,02
Припять – с. Коробы	115/117	0,37/0,36	0,66/0,78	0,15/-0,09
Припять – пгт. Туров	263/268	0,34/0,34	0,82/0,77	0,06/0,03
Припять – г. Пинск	70,4/64,1	0,29/0,30	0,46/0,62	-0,54/-0,08
Пульва – г. Высокое	1,21/1,21	0,29/0,27	0,96/0,88	0,19/0,14
Рудавка – с. Рудня	0,71/0,67	0,42/0,37	1,44/1,30	0,08/0,03
Ружанка – г. Ружаны	3,31/2,47	1,11/0,97	1,39/2,69	0,43/0,46
Рыта – с. Малые Радваничи	4,16/4,13	0,47/0,44	0,97/1,03	0,04/0,05
Цна – с. Дятловичи	4,59/4,35	0,42/0,44	0,40/0,45	-0,05/0,09
Щара – с. Доманово	17,2/16,6	0,28/0,23	1,07/0,53	0,07/0,03
Щара – с. Залужье	4,12/4,01	0,24/0,28	0,94/1,36	-0,27/-0,12
Ясельда–г. Береза	4,80/4,80	0,35/0,35	0,74/0,74	-0,06/-0,06
Ясельда – с. Сенин	19,3/19,5	0,38/0,37	0,79/0,72	0,11/0,02
Среднее	25,4/25,0	0,38/0,39	1,03/1,13	0,04/0,07

Анализ таблицы 2.4 показывает, что, в среднем, норма стока для продленного ряда уменьшилась на 2,43 % при максимальном увеличении на 11,76 % (р. Лесная – с. Тюхиничи) и максимальном уменьшении на 25,38 % (р. Ружанка – г. Ружаны), что можно объяснить небольшим по продолжительности периодом исходных наблюдений (19 и 20 лет соответственно). Для остальных рек-створов значительных колебаний изменений нормы стока не наблюдается. Что касается коэффициентов вариации (C_v) и асимметрии (C_s), то их среднее увеличение соответственно составило 5,0 % и 45,2 %. Для р. Мухавец – г. Пружаны уменьшение C_v максимальное (-19,8%), а для р. Лесная - с. Тюхиничи увеличение максимальное – 71,6 %. Для значений C_s соответственно р. Меречанка – с.Ставок (-64,2 %) и р. Неслуха – с. Рудск (863,1 %). Коэффициент автокорреляции ($r(I)$) имеет максимальное значение для р. Мышанки – с. Березки как до восстановления (0,45), так и после (0,64). Максимальные его изменения отмечены для р. Цна – с. Дятловичи (-285 %) и р. Лесная – с. Тюхиничи (2616 %). Большие значения изменения $r(I)$ объясняются его небольшими значениями (около 0).

В качестве основной модели продления использовались однофакторные модели, т. е. имеющие в составе уравнения регрессии один аналог. Такой выбор обосновывается высокими коэффициентами корреляции (более 0,9) и небольшими расхождениями восстановленных значений при использовании

одно-, двух-, и трехфакторных моделей. Например, для р. Щара – с. Доманово при продлении ряда по однофакторной модели использовалось четыре уравнения регрессии с коэффициентами корреляции соответственно 0,98; 0,97; 0,954; 0,931. При этом норма стока – $\bar{Q} = 16,6 \text{ м}^3/\text{с}$, коэффициенты вариации $C_v = 0,23$ и асимметрии $C_s = 0,53$. Для двухфакторной модели продление осуществлялось по 3-м уравнениям регрессии (4 аналога) с коэффициентами корреляции 0,99; 0,97; 0,93 и статистическими параметрами ряда: $\bar{Q} = 16,6 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v = 0,24$, $C_s = 0,73$ и по трехфакторной – по 3-м уравнениям (4 аналога) с коэффициентами корреляции 0,97; 0,92 и 0,89 при $\bar{Q} = 16,1 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v = 0,27$, $C_s = 1,08$. Как видно из приведенного примера использование одно-, двух- или трехфакторных моделей практически не влияет значимо на основные статистические параметры ряда и соответственно на сами восстановленные значения годового стока р. Щара – с. Доманово. Поэтому для восстановления возможно использование любой из описанных моделей. Но так как однофакторные модели имеют большую наглядность, то продление рядов речного стока базировалось, в основном, на них. Исключение составили лишь некоторые реки-створы при продлении рядов стока весеннего половодья и летне-осенней межени. В некоторых случаях привлекались двух- и трехфакторных модели, при этом одним из аналогов в таких моделях была река-створ с более полным, чем у других рядом наблюдений, но меньшим коэффициентом парной корреляции с восстанавливаемым рядом.

Что касается рядов максимальных весеннего половодья и минимальных летне-осенней межени значений речного стока, то картина продленных (восстановленных) рядов приблизительно аналогична рядам годового стока (Приложение В).

При восстановлении рядов стока и оценке по ним параметров кривых обеспеченности устойчивость этих параметров зависит не только от объема исходных данных, но и от объема эквивалентной наблюдаемым данным информации (эквивалентно-независимой информации).

Период наблюдений удлиняют до достижения приемлемых погрешностей статистических оценок ряда, учитывая требования генетического и статистического анализа (включение в ряд экстремальных характеристик, однородность ряда и др.).

Коэффициент вариации рассчитывают по восстановленному ряду при использовании парной корреляции в виде графической зависимости, в остальных случаях – по уравнениям, учитывающим различия колебаний водности в короткий и длительный (расчетный) периоды.

Коэффициент C_s устанавливают по его соотношению с коэффициентом C_v , которое определяют по совокупности соотношений для нескольких пунктов, расположенных в тех же физико-географических условиях и имеющих одинаковый вид распределения расчетной характеристики.

Определение характеристик стока при отсутствии гидрометрических данных

Гидрометрические данные о стоке воды могут полностью отсутствовать, что встречается наиболее часто, или могут быть непригодны по объему и качеству для статистических расчетов даже с использованием метода гидрологической аналогии. Существуют несколько способов определения гидрологических характеристик при отсутствии данных:

- 1) использование карт изолиний стока,
- 2) применение для расчетов районных зависимостей или формул с районными (зональными) параметрами и коэффициентами,
- 3) применение метода интерполяции между пунктами с достаточным периодом наблюдений,
- 4) использование уравнения водного баланса.

Первые два способа относятся к категории косвенных методов, основанных на исследовании связей гидрологических характеристик с определяющими их физико-географическими факторами и последующем обобщении полученных зависимостей или закономерностей распределения стока по территории в форме карт изолиний или районов и аналитических уравнений. Эти способы широко применяют в практике гидрологических расчетов, в то время как два последних способа имеют ограниченное применение.

Теоретической основой построения карт изолиний стока являются положение о неизменности среднего уровня увлажненности территории в историческое время и наличие зональности гидрологического режима. Теоретической основой районирования является сохранение во времени характера соотношения географической среды и режима речного стока, формирующегося в локальных природных условиях. Карты изолиний стока строят для рек с зональным характером водного режима, а с помощью районных зависимостей учитывают обычно азональные (местные) условия формирования стока.

Карты изолиний стока строят по данным о норме (средних многолетних значениях) или его обеспеченных значениях (сток фиксированной обеспеченности) для пунктов с зональным стоком, т. е. имеющим репрезентативные площади бассейна. Эти площади меняются в зависимости от географической зоны и рассматриваемой характеристики от десятков и сотен квадратных километров до 50...75 тыс. км². Погрешности карт составляют обычно 10...20 %,

кроме районов с очень сложными условиями формирования стока или чрезвычайно слабой гидрологической изученностью, где эти погрешности больше. Карты изолиний не применяют для определения стока рек, которые находятся под подавляющим влиянием местных условий (озер, карста и др.).

Сток по карте определяют для центра водосбора расчетной реки путем прямолинейной интерполяции между соседними изолиниями стока.

Чтобы определить сток малой реки, в значения стока, снятые с карты, можно ввести поправку, зависящую от площади водосбора и географической зоны.

Районные зависимости стока от определяющих его физико-географических факторов используют для районов с однородными условиями формирования стока. В зависимости от рассматриваемой характеристики стока определяющие его факторы могут изменяться и поэтому границы районов также меняются для минимального, максимального, сезонного и годового стока. Чаще всего при этих исследованиях используют следующие факторы и характеристики: площадь и среднюю высоту водосбора, уклон склонов водосбора и русла реки, озерность, заболоченность, залесенность, осадки и испарение и др.

Сток можно рассчитывать по следующим формулам или районным зависимостям, а именно:

1) по формулам, содержащим постоянные параметры и коэффициенты, усредненные по обширным территориям и отражающие характер влияния интегральных факторов на сток рассматриваемого региона. Естественно, что с помощью постоянных коэффициентов и параметров практически очень трудно учесть большое разнообразие условий формирования стока;

2) по уравнениям, содержащим не только интегральные факторы, но и параметры и коэффициенты, переменные по территории и поэтому определяемые для конкретного района (районные эмпирические коэффициенты). При этом определяющее значение имеют правильность выделения однородного района и соблюдение принципов его выделения. Такие формулы более полно учитывают местные особенности формирования стока, что позволяет увеличить надежность расчетов, поэтому такие зависимости широко применяют в практике гидрологических расчетов.

Метод интерполяции целесообразно применять для хорошо гидрологически изученной равнинной территории. Используя этот метод для горных районов, необходимо учитывать изменение высоты водосбора, что осложняет расчет.

Использование уравнения водного баланса малых рек для получения основных гидрологических характеристик

При расчете стока воды по уравнениям водного баланса определяют основные составляющие уравнения, связанные с осадками, испарением и с учетом потребления воды на хозяйственные нужды. Уравнение для расчета стока воды на основе использования составляющих водного баланса речного бассейна можно записать в общем виде

$$h = X - E - (h_1 - h_2) + (\omega_n - \omega_k) + (v_n - v_k) + p, \quad (2.21)$$

где h – слой годового стока; X – сумма атмосферных осадков, выпадающих на водосбор за год; E – суммарное испарение с поверхности почвы, воды, снега и льда, в том числе транспирация за вычетом конденсации; $(h_1 - h_2)$ – разница между водозабором на хозяйственные нужды h_1 и возвратными водами h_2 ; $(\omega_n - \omega_k)$ – изменение запасов влаги в верхнем слое почвогрунтов; $(v_n - v_k)$ – изменение запасов грунтовых вод; p – невязка водного баланса; индексы «н» и «к» обозначают начальный и конечный момент времени.

Все элементы водного баланса вычисляют как средние по водосбору и выражают в миллиметрах. В зависимости от типа водосбора, условий формирования рассматриваемой характеристики стока и периода времени составляющие; уравнения могут меняться. Например, в зимний период к осадкам, выпадающим на водосбор, добавляются еще осадки, попавшие на водосбор за счет переноса снега с поверхности другого водосбора (что может происходить на малых водосборах, особенно в степных районах), или же в уравнение добавляют члены, учитывающие аккумуляцию или сброску воды водохранилищем за расчетный период. Компоненты уравнения можно разделить на отдельные составляющие например, осадки – на снеговые и дождевые, испарение – на испарение с почвы, воды и транспирацию растительностью. Важным членом уравнения водного баланса может быть конденсация, особенно в засушливых районах. Если отдельные составляющие трудно определить, то их можно объединить в одну общую (например, атмосферные осадки и конденсацию или запасы почвенных и грунтовых вод).

Изложенные методы позволяют определить норму стока (среднее многолетнее значение) или сток фиксированной обеспеченности, хотя метод водного баланса применяется обычно лишь для определения среднего многолетнего стока. Для определения коэффициента вариации C_v применяют карты изолиний или районов и расчетные формулы, принципы построения и использования которых аналогичны изложенным для нормы стока. Коэффициент асимметрии C_s для неизученной реки определяют по совокупности его соот-

ношений с коэффициентом вариации, полученных по группе пунктов с одинаковым типом кривых обеспеченности.

2.4. Анализ восстановленных рядов речного стока и расчеты по оценке их однородности

Оценка однородности (стационарности) рядов гидрометрических наблюдений осуществляется на основе генетического анализа условий формирования речного стока путем выявления причин, обуславливающих неоднородность исходных данных наблюдений.

Первичный анализ однородности гидрологических рядов рекомендует проводить графическими методами, которые предусматривают построение суммарных (интегральных) кривых связей от времени $\sum X = f(t)$ и двойных суммарных кривых связей $\sum X = f(\sum X_a)$ $\sum X = f(\sum U)$, где $\sum X$ – нарастающее значение гидрологической характеристики исследуемой реки во времени; $\sum X_a$ – то же реки - аналога; $\sum U$ – то же стокообразующего фактора.

Резкое изменение угла наклона таких кривых характеризует начало изменения водного режима. Результаты графического анализа должны подтверждаться информацией об изменении условий формирования водного режима на водосборе и в русле, так как нарушение однородности рядов стока возможно и по причине естественных природных циклов изменения водности.

При необходимости количественной оценки однородности исходных данных наблюдений, применяются статистические критерии однородности средних значений и дисперсий с учетом внутрирядных и межрядных корреляционных связей.

Общий анализ однородности выборки непрерывного распределения проводится на основе теоремы Гнеденко-Королюка при объеме выборки $N=2n < 60$.

При нечетном числе членов ряда наблюдений первый или последний элементы ряда исключаются из рассмотрения. Принятая выборка разбивается на две равные части. Определяется наибольшее отклонение между обеспеченностями двух выборок объемом n , т.е. положительное значение d_m . В этом случае эмпирическая обеспеченность d определяется по формуле

$$d = \frac{m}{n}, \quad (2.17)$$

где m – порядковый номер члена ряда, расположенного в возрастающем порядке.

Рассчитывается значение параметра c по формуле