

Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

**Государственное учреждение
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»**

**Методические рекомендации
по определению расчетных гидрологических характеристик при
недостаточности данных гидрометрических наблюдений**

**Санкт-Петербург
2004г.**

Содержание

	Стр.
Предисловие	4
Введение	5
1 Общие положения	6
2 Методы приведения рядов гидрологических характеристик и их параметров к многолетнему периоду с учетом наблюдений менее 6 лет	11
Метод отношений	11
Метод уравнений регрессии	13
Графический метод	18
Заключение	19
3 Методы приведения рядов гидрологических характеристик и их параметров к многолетнему периоду при наличии гидрометрических наблюдений 6 и более лет	20
Аналитические методы	20
Графический метод	24
Графоаналитический метод	24
4 Методы приведения параметров распределения к многолетнему периоду с учетом исторических сведений о выдающихся значениях гидрологических характеристик	26
ПРИЛОЖЕНИЕ А	
ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ	32
А.1 Пример приведения к многолетнему периоду ряда и параметров распределения годового стока р. Съежа - д. Стан по методике, основанной на одновременном использовании нескольких пунктов - аналогов на различных временных интервалах.	32
А.2 Пример восстановления гидрологического ряда с учетом независимой случайной составляющей.	35
А.3 Пример восстановления годовичных значений стока с учетом материалов кратковременных наблюдений.	41
А.4 Пример восстановления нормы и квантилей распределения годового стока с учетом кратковременных наблюдений.	43
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	46
Б.1 Апробация методов расчета нормы и квантилей распределения с учетом	

кратковременных наблюдений	46
Б.2 Аprobация методики многоэтапного приведения годового стока рек и других гидрометеорологических характеристик	64
Литература	66

Предисловие

Настоящие Рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений в пункте проектирования надлежит использовать при подготовке Территориальных строительных норм субъектов Российской Федерации, а также при расчете гидрологических характеристик для строительного проектирования. Рекомендации составлены в лаборатории расчетов стока Государственного гидрологического института проф. А.В. Рождественским и кандидатом технических наук А.Г. Лобановой.

Введение

В настоящих Рекомендациях более подробно раскрывается смысл многих методических положений, изложенных в Своде правил [1] по определению расчетных гидрологических характеристик, приводятся алгоритмы расчета, даются пояснения по использованию вычислительных программ и более полно представлены примеры расчета различных гидрологических характеристик. В Приложении представлена также апробация методов, изложенных в настоящих Рекомендациях, на многочисленных примерах в различных регионах России на независимом от расчета материале наблюдений. Территориальные строительные нормы по определению расчетных гидрологических характеристик должны содержать обобщение исходной гидрологической информации в виде удобном для гидрологического обоснования проектирования новых, расширения, реконструкции, ликвидации и технического перевооружения действующих предприятий, зданий и сооружений для всех видов строительства и инженерной защиты территорий. В настоящих Рекомендациях рассматриваются методы приведения гидрологических рядов наблюдений, их параметров и квантилей к многолетнему периоду. Дальнейшая статистическая обработка приведенных к многолетнему периоду данных должна осуществляться в соответствии с методическими рекомендациями по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности, а также в соответствии со Сводом правил по определению основных расчетных гидрологических характеристик [1].

1. Общие положения

При инженерных гидрологических расчетах для строительства, а также при подготовке Территориальных строительных норм (ТСН) для субъектов Российской Федерации следует руководствоваться Сводом правил (СП-33-101-2003) по определению основных расчетных гидрологических характеристик [1]. Свод правил содержит основные методы и схемы расчета средних годовых, максимальных расходов воды и объемов стока весеннего половодья и дождевых паводков, минимальных расходов воды, внутригодового распределения стока, гидрографов стока, отметок наивысших уровней воды рек и озер. Настоящие методические рекомендации могут быть применены при недостаточности данных гидрометрических наблюдений и для других гидрологических характеристик, включая метеорологические факторы стока, температуру воды, начало, окончание и продолжительность различных гидрологических явлений, а также другие гидрологические характеристики.

Применение методов расчета, не включенных в Свод правил по определению расчетных гидрологических характеристик, требует всестороннего обоснования. Необходимо при этом представить сравнительную оценку погрешностей расчетов по предлагаемым методам с результатами расчетов по методам, изложенным в настоящих Рекомендациях и Своде правил [1].

Определение расчетных гидрологических характеристик должно основываться на данных гидрометеорологических наблюдений, опубликованных в официальных документах Росгидромета, включая последние годы наблюдений к моменту подготовки ТСН, или при гидрологическом обосновании различного рода проектов. Должны также использоваться материалы наблюдений, находящиеся в рабочем виде за последние годы, данные наблюдений, содержащиеся в архивах Государственного гидрометфонда [2,3,4], изыскательских, проектных и других организаций, включая материалы опроса местных жителей. Кроме того, следует использовать достоверные данные наблюдений за гидрологическими характеристиками по архивным, литературным и другим материалам, относящимся к периоду до начала регулярных наблюдений. При этом необходимо указать источник, на основании которого установлена гидрологическая информация (продолжительность числа лет, в течение которых выдающееся значение гидрологической характеристики не было превышено), и произвести по возможности тщательную оценку достоверности и точности полученных материалов. Особое внимание следует уделять выдающимся гидрологическим явлениям, которые имели место за пределами опубликованных данных Росгидромета.

При отсутствии данных гидрометеорологических наблюдений в пункте проектирования обязательно проводятся гидрометеорологические изыскания для повышения точности и надежности расчетов, выполняемых методами, изложенными в Своде правил [1] и в настоящих Рекомендациях. Изыскания осуществляются в соответствии со СНиП 11-02-96 “Инженерные изыскания для строительства. Основные положения” [5] и СП 11-103-97 “Инженерно - гидрометеорологические изыскания для строительства” [6]. Материалы полевых гидрометеорологических изысканий также подлежат дальнейшему анализу и последующим расчетам в соответствии с настоящими рекомендациями, а также в соответствии со Сводом правил [1] по определению основных расчетных гидрологических характеристик.

При недостаточности данных гидрометрических наблюдений параметры кривых распределения вероятностей гидрологических характеристик, а также основных элементов расчетного гидрографа необходимо приводить к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений в пунктах – аналогах [7,8,9]. Приведение к многолетнему периоду рассматриваемой гидрологической характеристики осуществляются в случаях, когда средняя квадратическая погрешность расчетного значения гидрологической характеристики превышает 10% для годового и сезонного стока и 20% - для максимального и минимального стока. Случайные средние квадратические погрешности определяются по работам [10,11], или в соответствии со Сводом правил [1] и Методическими рекомендациями по определению основных расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности [12].

При выборе пунктов-аналогов необходимо выполнение следующих условий:

возможная географическая близость расположения водосборов;

сходство климатических условий;

однородность условий формирования стока, однотипность почв (грунтов) и гидрогеологических условий (дренирование подземных вод), по возможности, близкая степень залесенности, заболоченности, распаханности;

отсутствие антропогенных факторов существенно искажающих гидрологический режим рек (подпор, регулирование стока, сбросы, изъятия на орошение и другие нужды);

наличие синхронности в колебаниях гидрологических характеристик,

высокое качество наблюдений в пунктах-аналогах,

достаточная продолжительность наблюдений, превышающая продолжительность наблюдения в исследуемом или расчетном створе.

Условия при выборе пунктов-аналогов могут несколько различаться в зависимости от определяемой гидрологической характеристики, метода ее расчета и гидрологической изученности рассматриваемой территории.

При выборе пункта – аналога для целей приведения гидрологических характеристик и параметров основным критерием является наличие синхронности в колебаниях речного стока расчетного створа и створов – аналогов. Синхронность количественно выражается через коэффициент парной или множественной (при одновременном использовании нескольких аналогов) корреляции между стоком в рассматриваемых пунктах наблюдений, а в случае использования метеорологической информации между гидрологическими и метеорологическими характеристиками. Целесообразно учитывать пространственную связанность рассматриваемой гидрологической характеристики, которая количественно выражается через матрицу парных коэффициентов корреляции между речным стоком в однородном районе или пространственную корреляционную функцию, представляющую собой зависимость коэффициентов парной корреляции стока рек от расстояния между центрами тяжести водосборов. Различные гидрологические характеристики имеют разную интенсивность убывания коэффициентов парной корреляции в зависимости от расстояния между центрами тяжести водосборов [13]. Так, для одного и того же расстояния между центрами тяжести водосборов коэффициенты парной корреляции дождевого стока, как правило, будут меньше чем коэффициенты корреляции других гидрологических характеристик. В этом случае приведение дождевого стока к многолетнему периоду стока будет менее качественным или в отдельных районах вообще даже невозможным при существующей сети гидрометрических наблюдений и заданных условиях устойчивости и надежности аналитических решений по сравнению с другими гидрологическими характеристиками.

Матрицы парных коэффициентов корреляции и корреляционные функции определяются в однородном гидрологическом и физико-географическом районе исследования.

В слабоизученных в гидрометрическом отношении районах, где пункты - аналоги или вообще отсутствуют, или их недостаточно, в качестве аналогов может использоваться другая информация, определяющая рассматриваемую гидрологическую характеристику. В этой ситуации необходимо повысить требования к анализу полученной в результате приведения информации, чтобы исключить из рассмотрения случайные связи, не отражающие их физическую природу. При этом может быть использован региональный анализ зависимостей рассматриваемой гидрологической характеристики от факторов, ее определяющих.

При выборе аналогов следует учитывать как возможно большую продолжительность наблюдений в этих пунктах, так и более тесные связи между стоком в приводимом к многолетнему периоду пункте и стоком в пунктах - аналогах.

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 [1,10,11].

Приведение гидрологических рядов и их параметров распределения к многолетнему периоду, как правило, осуществляется аналитическими методами. Для предварительных расчетов допускается использование графических и графоаналитических методов.

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

$$n \geq 6-10; R \geq R_{кр}; R/\sigma_R \geq A_{кр}; k/\sigma_k \geq B_{кр}; y/\sigma_y \geq C_{кр} \quad (1.1)$$

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) в соответствии с разделом 3 или количество пунктов-аналогов при восстановлении с привлечением кратковременных наблюдений в соответствии с разделом 2 настоящих Рекомендаций; R - коэффициент парной или множественной корреляции между значениями стока исследуемой реки и значениями стока в пунктах – аналогах (3-ий раздел Рекомендаций), а также коэффициент парной корреляции между стоком конкретных лет (2-ой раздел Рекомендаций); k - коэффициенты уравнения регрессии; σ_k - средняя квадратическая погрешность коэффициента регрессии, $R_{кр}$ – критическое значение коэффициента парной или множественной корреляции (обычно задается ≥ 0.7); y – восстановленное значение рассматриваемой гидрологической характеристики; σ_y – средняя квадратическая погрешность восстановленного значения гидрологической характеристики, $A_{кр}$, $B_{кр}$ и $C_{кр}$ – соответственно критические значения отношений R/σ_R , k/σ_k и y/σ_y (обычно задается ≥ 2.0 , что обеспечивает по крайней мере 95%-ый уровень надежности расчетов). Если хотя бы один из коэффициентов уравнения регрессии не удовлетворяет условию (1.1), то это уравнение не используется для приведения к многолетнему периоду.

В слабо изученном в гидрологическом отношении районе значения $R_{кр}$, $A_{кр}$, $B_{кр}$ и $C_{кр}$ могут быть уменьшены, а в хорошо изученном - увеличены. При увеличении значений $R_{кр}$, $A_{кр}$, $B_{кр}$ и $C_{кр}$ возрастает точность, но уменьшается объем

восстановленных данных и наоборот при уменьшении этих значений увеличивается объем восстановленных данных, но уменьшается их точность.

2. Методы приведения рядов гидрологических характеристик и их параметров к многолетнему периоду с учетом наблюдений менее 6 лет

Методы гидрологических расчетов, используемые в настоящем разделе, предназначены для приведения к многолетнему периоду данных гидрометеорологических наблюдений продолжительностью менее 6 лет [14], в то время как в 3 разделе рассматриваются методы, с продолжительностью наблюдений 6 лет и более.

Метод отношений и графический методы учета материалов кратковременных полевых гидрометеорологических изысканий предусматривают предварительное приведение к многолетнему периоду параметров и квантилей распределения речного стока рек исследуемого района (стационарные пункты наблюдений) согласно 3 разделу настоящих рекомендаций.

В данном разделе приводятся три метода восстановления отсутствующей гидрометеорологической информации, а также параметров и квантилей распределения: метод отношений, регрессионные методы и графический метод.

Метод отношений

Восстановление значений стока за каждый год, а также приведение нормы и квантилей распределения к многолетнему периоду допускается осуществлять по методу отношений, основанному на приблизительном равенстве модульных коэффициентов в пункте с кратковременными наблюдениями и в пунктах - аналогах, по формулам:

$$y_{i-k} \cong x_{i-k} \frac{y_i}{x_i}, \quad (2.1)$$

$$\bar{y} \cong \bar{x} \frac{y_i}{x_i}, \quad (2.2)$$

$$y_p \cong x_p \frac{x_i}{y_i}, \quad (2.3)$$

где y и x - соответственно наблюденные значения речного стока в пункте с кратковременными наблюдениями и в пунктах - аналогах с регулярными наблюдениями, $\bar{y}$ и $\bar{x}$ а также y_p и x_p соответственно норма стока и значения стока заданной обеспеченности в исследуемом пункте и в пунктах аналогах.

Метод отношений используется при выполнении условия $R \geq R_{кр}$, где R определяется по пространственной корреляционной функции или матрице парных коэффициентов корреляции по данным пунктов аналогов. Пункты-аналоги обычно выбираются по наименьшему расстоянию между центрами тяжести водосборов проектируемого пункта и пунктов - аналогов. Число привлекаемых в расчетах аналогов определяется как степенью

гидрологической изученности, так и пространственной однородностью рассматриваемой гидрологической характеристики. Установлено, что случайные средние квадратические (стандартные) погрешности уменьшаются лишь до трех аналогов.

При наличии нескольких аналогов расчеты осуществляются последовательно по всем аналогам, и результаты осредняются с учетом случайных средних квадратических погрешностей, полученных на независимом от расчета материале наблюдений в соответствии с формулой:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{1}{\sigma_i^2} y_i}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{\sigma_i^2}}, \quad (2.4)$$

где y_i - значение рассматриваемой гидрологической характеристики, определенное по различным аналогам, σ_i^2 - абсолютные дисперсии случайных погрешностей для каждого аналога k - число аналогов от $i=1$ до k .

Средняя квадратическая погрешность расчета значений стока за каждый год, нормы стока и квантилей распределения определяется по пунктам - аналогам. Для этой цели выбираются два пункта с гидрометрическими наблюдениями в однородном гидрологическом районе проектирования, один из которых условно принимается в качестве исследуемого пункта, а другой - в качестве пункта-аналога. Расчетное значение стока определяется по формулам (2.1-2.3) столько раз, сколько имеется наблюдений в створе, принимаемом за исследуемый.

Средняя квадратическая погрешность определения годовичного значения или нормы стока или квантилей распределения по данным одного года наблюдений будет равна:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_n - y_p)^2 / (n-1)}, \quad (2.5)$$

где y_n - наблюдаемое значение стока за каждый год или норма стока или квантили распределения, y_p - рассчитанные значение стока за каждый год, или норма стока, или квантили распределения.

В случае, когда рассчитаны стандартные погрешности гидрологических характеристик по данным за один год, при увеличении продолжительности наблюдений стандартные погрешности в первом приближении можно рассчитать по формуле:

$$\sigma_{y(n)} = \frac{\sigma_{y(1)}}{\sqrt{n}}, \quad (2.6)$$

или

$$\sigma_{y(n)} = \frac{\sigma_{y(1)}}{\sqrt{n}} \cdot \frac{1+r(1)}{1-r(1)}, \quad (2.7)$$

где $\sigma_{y(1)}$ - стандартная случайная погрешность гидрологической характеристики, рассчитанная по одному году наблюдений; $\sigma_{y(n)}$ - стандартная случайная погрешность гидрологической характеристики, рассчитанная по n годам наблюдений; $r(1)$ – коэффициент автокорреляции между смежными членами ряда; n – число лет наблюдений. Это наиболее типичный случай расчетов, т.к. получить стандартные погрешности методом отношений возможно лишь на независимом от расчета материале наблюдений применительно к двум пунктам с регулярными и достаточно продолжительными наблюдениями в однородном в гидрологическом отношении районе исследования.

При использовании формулы (2.7) необходимо осуществить групповую оценку коэффициентов автокорреляции между стоком смежных лет для однородного гидрологического района. На основании формул (2.6) и (2.7) может быть рассчитано необходимое число лет наблюдений по заданной стандартной погрешности расчетной гидрологической характеристики. Полученное число лет может быть использовано при определении числа лет полевых гидрометеорологических изысканий.

Метод уравнений регрессии

Методика восстановления значений стока по уравнениям регрессии состоит в следующем. В случае, когда имеется один год кратковременных наблюдений, рассчитываются уравнения регрессии между наблюдениями за этот год и последовательно со всеми остальными годами, в которых имеются наблюдения в пунктах-аналогах, при условии, что количество пунктов-аналогов должно быть не менее 5. Наиболее эффективным методом, дающим наиболее качественные результаты приведения данных наблюдений к более длительному периоду, является метод расчета, основанный на пространственных годичных уравнениях по данным наблюдений в однородном районе.

Методически задача решается следующим образом. При увеличении числа аналогов увеличивается надежность и точность уравнений регрессии, что приводит к более точным результатам расчета в исследуемом пункте. Но в этом случае уменьшается число восстановленных лет наблюдений. Обратная картина получается при уменьшении числа принятых в расчет аналогов. Оптимальное число аналогов задаваемых при расчете уравнений регрессии зависит от гидрологической изученности района исследования и пространственной связанностью рассматриваемой гидрологической характеристики. Так,

при слабой гидрологической изученности число аналогов, принимаемых в расчет может быть уменьшено, а при хорошо изученном в гидрологическом отношении районе исследования число аналогов может быть увеличено. Для дождевого стока, имеющего, как правило, слабую пространственную связанность по сравнению с другими гидрологическими характеристиками число пунктов может быть уменьшено по сравнению с другими гидрологическими характеристиками, имеющими большую пространственную связанность. Этот вопрос выносится в качестве диалога специалиста гидролога с Персональным компьютером. Следовательно, при назначении наименьшего числа аналогов, которые будут использованы в дальнейших расчетах, следует иметь ввиду приведенные соображения. При этом возможны и другие гидрологические аспекты, поясняющие назначение наименьшего числа аналогов в регрессионном методе, зависящие от многих других факторов, включая региональные особенности рассматриваемого района исследования.

В однородном гидрологическом районе проводятся стационарные гидрометрические наблюдения за изучаемой характеристикой x , а также имеются кратковременные наблюдения y в исследуемом пункте. Исходная гидрометрическая информация от самого раннего года наблюдений $i=1$ до самого позднего $i=n$ может быть представлена в общем виде в таблице 2.1.

Наблюдения в расчетном створе могут быть в различном временном интервале от $i=1$ до $i=n$, но, как правило, изыскания проводятся в последние годы к моменту проектирования. Индексация при значениях единая для всех постов: первый индекс обозначает годы наблюдений от $i=1$ до $i=n$, второй индекс – номер гидрометрического стационарного створа наблюдений от $j=1$ до $j=k$, расчетный створ имеет индекс $(k+1)$. Число лет наблюдений в расчетном створе L всегда меньше, чем в стационарных гидрометрических створах. Требуется восстановить сток в расчетном створе за годы, наблюдения по которым имеются в пунктах-аналогах.

Для стационарных гидрометрических пунктов для каждого года наблюдений от $i=1$ до $i=n-L-1$ рассчитываются уравнения регрессии, наибольшее число уравнений равно $(n-L-1)i$.

$$\begin{aligned}
 y_{ij} &= A_{i1} x_{(n-L-1)j} + B_{i1} \\
 y_{ij} &= A_{i2} x_{(n-L-1)j} + B_{i2} \\
 &\dots\dots\dots \\
 &\dots\dots\dots \\
 &\dots\dots\dots \\
 y_{ij} &= A_{iL} x_{nj} + B_{iL} \quad .
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

В расчетах используются лишь те уравнения, которые удовлетворяют условиям:

$$R_i/\sigma_{Ri} \geq q_R, \quad R_i \geq R_{кр}, \quad k \geq k_{кр}. \quad (2.9)$$

Обычно, $q_R \geq 2$, $R_{кр.} \geq 0,7$, $k_{кр.} \geq 5$. С уменьшением этих коэффициентов, как правило, увеличивается число восстановленных значений стока с меньшим уровнем надежности, и, наоборот, с увеличением этих коэффициентов уменьшается число рассчитанных значений стока, но увеличивается уровень надежности. При назначении критических значений параметров, которые в дальнейшем будут учитываться при выборе уравнений регрессии, следует учитывать соображения, приведенные ранее и другие аспекты гидрологического анализа. Численные критические значения, приведенные в (2.9) следует использовать лишь в первом приближении, когда никакой дополнительной гидрологической информации о районе исследования не имеется.

Таблица 2.1- Матрица исходных данных

Стационарные наблюдения						Расчетный створ
X_{11}	X_{12}		X_{1j}		X_{1k}	$Y_{(n-L)(k+1)}$
X_{21}	X_{22}		X_{2j}		X_{2k}	
.....						
.....						
.....						
X_{i1}	X_{i2}		X_{ij}		X_{ik}	
.....						
.....						
$X_{(n-L-1)1}$	$X_{(n-L-1)2}$		$X_{(n-L-1)j}$		$X_{(n-L-1)k}$	
$X_{(n-L)1}$	$X_{(n-L)2}$		$X_{(n-L)j}$		$X_{(n-L)k}$	
.....						
.....						
$X_{(n-L)1}$	$X_{(n-L)2}$		$X_{(n-L)j}$		$X_{(n-L)k}$	$Y_{(n-1)(k+1)}$
X_{n1}	X_{n2}		X_{nj}		X_{nk}	$Y_{n(k+1)}$

Восстановленные по уравнениям регрессии значения стока имеют заниженную дисперсию многолетних колебаний, что для инженерных гидрологических расчетов недопустимо т.к. при этом занижается расчетное значение рассматриваемой гидрологической характеристики для зоны малых обеспеченностей (различные характеристики максимального стока и уровней воды) и завышается расчетное значение для зоны больших обеспеченностей (различные характеристики минимального стока, стока летней и зимней межени). Исключение систематических погрешностей в оценке коэффициента вариации и стандартного отклонения осуществляется путем перехода от

уравнения регрессии к так называемому единому решению, когда в уравнении регрессии исключается значение коэффициента корреляции, то есть коэффициент корреляции принимается равным единице. В этом случае принцип наименьших квадратов по шкале ординат заменяется принципом наименьших прямоугольников по шкалам ординат и абсцисс.

По уравнениям (2.8) восстанавливается сток в расчетном створе $(k+1)$ за годы от $i = 1$ до $i = n-L-1$. Для каждого года от $i = 1$ до $i = n-L-1$ сток восстанавливается L раз. За расчетное значение стока в i -ом году принимается среднее арифметическое значение:

$$y_i = \frac{\sum_{L=1}^L y_L}{L} \quad (2.10)$$

Более точное значение стока в i -ом году при разной точности уравнений следует определять с весовыми коэффициентами, обратно пропорциональными дисперсиям погрешностей уравнений регрессии:

$$y_i = \frac{\sum_{L=1}^L y_L \frac{1}{\sigma_L^2(y_{сл})}}{\sum_{L=1}^L \frac{1}{\sigma_L^2(y_{сл})}} \quad (2.11)$$

где $\sigma_{L(y_{сл})}$ - условное стандартное отклонение эмпирических точек от уравнения регрессии,

$$\sigma_{L(y_{сл})} = \sigma_{L(безусл.)} \sqrt{1-R^2} \quad (2.12)$$

или

$$\sigma_{L(y_{сл})} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k (y_j - y_{yp})^2}{k-1}} \quad (2.13)$$

y_{yp} - значение стока, рассчитанное по уравнению;

$\sigma_{L(безусл.)}$ - безусловное стандартное отклонение эмпирических точек в расчетном году

$$\sigma_{L(безусл.)} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^k (y_k - \bar{y})^2}{k-1}} \quad (2.14)$$

По восстановленным годичным значениям за многолетний период гидрометеорологических характеристик можно рассчитать параметры (норма, коэффициенты вариации, асимметрии и автокорреляции), а также квантили распределения.

Предложенная схема восстановления может применяться не только для кратковременных наблюдений за гидрологической характеристикой от одного до пяти лет,

а и для более продолжительных наблюдений. В основе данного способа восстановления годовых значений, нормы и квантилей распределения лежит пространственная связанность исследуемой гидрометеорологической характеристики.

Метод годовых уравнений регрессии, как правило, дает меньшие стандартные погрешности, чем метод отношений и рекомендуется в качестве основного метода расчета гидрологических характеристик при наличии кратковременных наблюдений.

Для построения кривой обеспеченности требуется знание трех параметров: нормы, коэффициентов вариации и асимметрии или отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации. Это соотношение рекомендуется рассчитывать на основе групповой оценки в однородном гидрологическом районе на основе индивидуальных оценок, получаемых по пунктам-аналогам.

Методы, изложенные в настоящем разделе, могут быть использованы при числе лет наблюдений больше 5. Но в этом случае следует осуществить восстановление отсутствующей гидрометеорологической информации в соответствии с разделами 2 и 3 настоящих рекомендаций, после чего осуществить тщательный анализ полученных данных. В качестве окончательных значений восстановленных рядов гидрометеорологических характеристик следует использовать средние арифметические значения за каждый год полученные по каждому из рассмотренных методов расчета. При этом осреднение результатов расчета допускается осуществлять с весовыми коэффициентами обратно пропорциональными дисперсиям стандартных погрешностей:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{1}{\sigma_i^2} y_i}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{\sigma_i^2}}, \quad (2.15)$$

где y_i - значение рассматриваемой гидрологической характеристики, определенное по различным методам, σ_i^2 - абсолютные дисперсии погрешностей для каждого метода k - число методов, в данном случае используется два метода. Возможно, в будущем будут разработаны другие методы расчета. Поэтому данная формула представлена в общем виде.

Один из методов оценки коэффициентов вариации с учетом кратковременных наблюдений основан на решении уравнений регрессии вида:

$$y_i - \bar{y} = r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x_i - \bar{x}), \quad (2.16)$$

в котором y_i - наблюдаемые данные в пункте проектирования, $\bar{y}$ - неизвестная норма стока в пункте проектирования, x_i - сток в пункте-аналоге за i - год, $\bar{x}$ - норма стока в пункте-аналоге, приведенная к многолетнему периоду, σ_y и σ_x - средние квадратические отклонения в исследуемом пункте и пункте-аналоге.

В уравнении (2.16) не известны $\bar{y}$, σ_y , r_{xy} . Коэффициент корреляции r_{xy} получаем с помощью пространственной корреляционной функции рассматриваемой гидрологической характеристики, зная расстояние между центрами тяжести исследуемого водосбора и водосбора-аналога. Норму стока определяем одним из способов, рекомендуемых ранее.

Подставив в уравнение (2.16) значения $\bar{y}$ и r_{xy} , получим значение стандартного отклонения σ_y и рассчитаем коэффициент вариации $C_v = \sigma_y / \bar{y}$.

При наличии двух лет наблюдений будем иметь два уравнения с двумя неизвестными, тогда можно определить $\bar{y}$ и σ_y . Число уравнений регрессии может быть увеличено за счет привлечения нескольких аналогов. Во всех случаях стандартные относительные погрешности расчета коэффициентов вариации уменьшается с увеличением числа лет наблюдений.

При расчетах коэффициента вариации можно рекомендовать два-три аналога, при увеличении числа аналогов более трех случайные стандартные погрешности практически не уменьшаются, а в некоторых случаях даже возрастают. При использовании одного аналога при числе лет наблюдений два года стандартные погрешности расчета коэффициента вариации велики и не могут быть рекомендованы в качестве расчетных.

Графический метод

Для предварительной оценки коэффициентов вариации и квантилей распределения речного стока может быть использован графический способ путем построения кривой обеспеченности рассматриваемой характеристики речного стока на клетчатке вероятностей с фиксированным отношением C_s/C_v , полученным для исследуемого района. Шкала ординат на клетчатках вероятностей в данном случае должна быть представлена в виде модульных коэффициентов. Значения модульных коэффициентов определяются по фактическим наблюдениям в проектируемом пункте и норме стока определенной ранее изложенными методами. Для определения расчетных значений стока необходимо иметь как минимум два года наблюдений в исследуемом пункте.

По данным пунктов-аналогов рассчитывается эмпирическая обеспеченность значений стока, которые наблюдались в конкретные годы в пункте проектирования. Рассчитанные модульные коэффициенты k_i соответствующей эмпирической обеспеченности наносятся на клетчатку вероятности с выбранным фиксированным значением C_s/C_v . Разность между эмпирическими обеспеченностями стока за наблюдаемые годы должна быть не менее 10%.

Полученные эмпирические точки k_i аппроксимируются прямой линией, которая продолжается до пересечения со шкалой коэффициентов вариации.

Графический способ рекомендуется и для предварительного определения расчетных значений стока заданной обеспеченности. Для этой цели значения модульных коэффициентов k_i , снятых с кривой распределения, которые рассчитаны по данным двух или трехлетних наблюдений, умножаются на норму стока, определенную с использованием кратковременных наблюдений.

Заключение

Метод уравнений регрессии рекомендуется в качестве основного метода восстановления отсутствующей гидрометрической информации за отдельные годы, а также при приведении параметров и квантилей распределения к многолетнему периоду при наличии кратковременных (от одного года до пяти лет) наблюдений.

Метод отношений может быть рекомендован при наличии очень хорошего аналога, например, когда водомерные посты расположены на одной реке с сравнительно небольшим приращением площади водосбора (менее пяти процентов). Этот метод дает хорошие результаты, когда переносится пункт наблюдений из одного места в другое место. В последнем случае приращение площади водосбора, как правило, очень малое.

Графический метод может быть рекомендован только на предварительных стадиях проектирования.

При расчетах с использованием метода отношений и регрессионного метода, ввиду очень большого объема вычислительных работ рекомендуется использовать персональные компьютеры (ПК).

3. Методы приведения рядов гидрологических характеристик и их параметров к многолетнему периоду при наличии гидрометрических наблюдений 6 и более лет

Приведение гидрометеорологических рядов и их параметров к многолетнему периоду может быть осуществлено аналитическими, графоаналитическими и графическими методами.

Аналитические методы

Для объективного расчета параметров и квантилей распределения, а также значений стока за отдельные годы используются аналитические методы [7], основанные на регрессионном анализе с привлечением одного или нескольких пунктов – аналогов на различных временных этапах при соблюдении условий (1.1). В качестве аналогов может использоваться метеорологическая информация, а также другие факторы речного стока, определяющие его формирование. Поэтапное использование нескольких аналогов значительно расширяет возможности приведения и делает его более качественным по сравнению с методами, в которых используется дополнительная информация в одном пункте – аналоге. Последовательность приведения к многолетнему периоду состоит в следующем:

- все уравнения, удовлетворяющие условиям (1.1), располагаются в порядке убывания коэффициентов корреляции;
- восстанавливаются годовые значения стока приводимого пункта за период совместных наблюдений в пунктах - аналогах по уравнению с наибольшим значением коэффициента корреляции;
- далее используются уравнения регрессии, коэффициенты корреляции которых меньше предыдущего, но больше всех остальных; по данным уравнениям восстанавливаются годовые значения гидрологической характеристики, которые не были восстановлены ранее;
- поэтапное восстановление годовых значений стока продолжается до тех пор, пока не будут использованы все уравнения регрессии, удовлетворяющие условиям (1.1).

Уравнение множественной линейной регрессии, по которому восстанавливается сток, имеет вид:

$$y = k_0 + k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_j x_j + \dots + k_l x_l, \quad (3.1)$$

где y - значения стока в приводимом пункте, x_j - значения стока в пунктах-аналогах, k_0 - свободный член, k_j - коэффициенты уравнения линейной регрессии при $j = 1, 2, \dots, l$, l - число пунктов-аналогов.

Коэффициенты уравнения (3.1) определяются на основе метода наименьших квадратов (МНК). При большом массовом счете, когда необходимо приводить к длительному периоду большое число пунктов, можно предполагаемые аналоги выбирать не для каждого конкретного пункта, а для нескольких пунктов, расположенных в однородном физико-географическом районе.

В случае одного аналога приведение среднего значения к более длительному периоду допускается определять по формуле:

$$\bar{y}_N = \bar{y}_n + r(\sigma_n / \sigma_{n,a})(\bar{y}_{N,a} - \bar{y}_{n,a}), \quad (3.2)$$

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

Относительная средняя квадратическая погрешность приведенной к многолетнему периоду нормы стока определяется по формуле:

$$\varepsilon_{\bar{y}_N} = \frac{100\sigma_n}{\bar{y}_N \sqrt{n}} \sqrt{1 + r^2 \left(\frac{n}{N} \frac{\sigma_{N,a}^2}{\sigma_{n,a}^2} - 1 \right)} \% . \quad (3.3)$$

Коэффициент вариации определяется по формуле:

$$C_{v,N} = \sigma_n / [\bar{y}_N \sqrt{1 - r^2 (1 - \sigma_{n,a}^2 / \sigma_{N,a}^2)}], \quad (3.4)$$

где $\sigma_{N,a}$ - среднее квадратическое отклонение гидрологической характеристики реки - аналога за N - летний период, остальные обозначения те же, что и в формуле (3.2).

Данные, восстановленные по уравнению (3.1) имеют систематически заниженную дисперсию. Исключение систематического уменьшения дисперсии восстановленных данных необходимо осуществлять одним из двух вариантов.

1). Введением поправки в годовые значения стока, полученные по уравнению регрессии:

$$y'_i = [(y_i - \bar{y}_n) / r] + \bar{y}_n, \quad (3.5)$$

где y'_i - годовые значения гидрологических характеристик, рассчитанные по уравнению регрессии, $\bar{y}_n$ - среднее значение приводимого ряда за совместный с пунктом - аналогом период.

2) С учетом случайной составляющей отклонений наблюдаемых данных от рассчитанных по уравнению регрессии [15]:

$$y'_i = y_i + \varphi\sigma \sqrt{1-r^2}, \quad (3.6)$$

где φ - случайная величина, имеющая нормальный закон распределения с математическим ожиданием, равным нулю и дисперсией, равной единице, определяется по вероятности P , которая в свою очередь находится с помощью таблицы равномерно распределенных случайных чисел, σ - среднее квадратичное отклонение исходного ряда наблюдений. Использование этого варианта рекомендуется осуществлять, если число восстановленных значений не менее 30.

В последнем случае расчет параметров распределения осуществляется по ряду восстановленных значений без поправки (3.5) и не требует знания параметров ряда - аналога за весь N - летний период наблюдений.

Норма речного стока, значения стока за каждый год и квантили распределения определяются также по методу, основанному на зависимостях этих значений от стока конкретных лет (раздел 2), при соблюдении условий (1.1).

При восстановлении значений речного стока за отдельные годы по методам, указанным ранее их окончательные значения могут определяться с учетом средних квадратических погрешностей методов по формуле (2.15).

По восстановленному ряду совместно с наблюдаемыми данными рассчитываются параметры распределения: среднее многолетнее значение, коэффициенты вариации, асимметрии и коэффициент корреляции между стоком смежных лет, а также квантили распределения.

Расчетные значения коэффициентов асимметрии C_s и автокорреляции $r(1)$ принимаются на основании группового анализа отношения C_s / C_v и $r(1)$ по рядам - аналогам согласно Своду правил [1] и настоящими Методическими рекомендациями.

На завершающем этапе особое внимание должно быть уделено оценке точности полученных решений, оценке значимости коэффициентов регрессии и коэффициентов множественной корреляции. Оценка эффективности восстановленных данных осуществляется на основании полученных коэффициентов парной, или множественной корреляции, которые должны быть выше заданных значений. Кроме того, эффективность

процедуры восстановления отсутствующей гидрометеорологической информации определяется фактически полученными значениями отношений R/σ_R ; k/σ_k ; y/σ_y , которые должны быть больше заданных при расчетах.

При малом коэффициенте корреляции полезно проанализировать графические зависимости, чтобы выяснить причину отклонения точек от линии регрессии и принять соответствующее решение. Если логика анализа позволит исключить эти точки из рассмотрения, необходимо повторить весь расчет без них, а полученные результаты вновь проанализировать. Если полученное решение по той или иной причине не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к поставленной задаче, можно рекомендовать использовать новый набор аналогов или заменить его частично со всеми дальнейшими расчетами по восстановлению, а также последующим анализом.

Устойчивость и надежность восстановленных данных определяется не только объемом исходных данных за совместный с аналогами период наблюдений, но и объемом информации, эквивалентной наблюдаемым данным.

При оценке случайных средних квадратических погрешностей расчетных параметров речного стока, а также в других случаях необходимо учитывать объем информации, эквивалентной наблюдаемым данным, который определяется соответственно для нормы ($N_{\Sigma y}$) и среднего квадратического отклонения ($N_{\Sigma \sigma}$) по формулам:

$$N_{\Sigma y} = \frac{N}{[1 + (N - n)(1 - R^2)]/(n - 2)}, \quad (3.7)$$

$$N_{\Sigma \sigma} = \frac{Nn}{n + (N - n)(1 - R^4)}, \quad (3.8)$$

где n - число совместных лет наблюдений в приводимом ряду и рядах аналогах, $N - n$ - число восстановленных членов ряда по уравнению, R - коэффициент парной или множественной корреляции.

Так как зависимости между гидрологическими характеристиками не функциональны ($R < 1$), объем эквивалентно - независимой информации всегда больше n и меньше N , и только при $R = 1$, $N_{\Sigma} = N$.

При поэтапном восстановлении гидрологических характеристик с использованием различных уравнений регрессии с последовательно уменьшающимися коэффициентами корреляции объем N_{Σ} следует рассчитывать по каждому уравнению регрессии лишь для восстановленных по нему членов ряда. Общий объем эквивалентно - независимой

информации определяется как сумма этой информации за каждый восстановленный период с учетом наблюдаемых данных и составит: $N_{э,общ.} = n + N_{э1} + N_{э2} + N_{э3} + \dots + N_{эm}$, где последнее уравнение имеет индекс m .

Графический метод

Графический метод приведения к многолетнему периоду допускается применять на начальных стадиях проектирования в основном для определения среднего многолетнего значения (нормы) стока. Графические зависимости могут быть построены при наличии не менее шести соответственных значений речного стока в расчетном створе и створе-аналоге. Зависимости считаются удовлетворительными, если коэффициент корреляции между стоком в приводимом пункте и пункте-аналоге не менее 0,7. При прямолинейной зависимости норма стока в приводимом пункте определяется непосредственно по норме стока реки-аналога.

Криволинейные связи значений стока принимаются лишь в тех случаях, когда они объясняются не случайным расположением точек, а характером колебания стока в приводимом пункте и пункте - аналоге. В этом случае требуется обязательная оценка статистической значимости не линейности рассматриваемой зависимости.

При криволинейной связи по графику для расчетного створа восстанавливаются ежегодные значения стока за период наблюдений в пункте-аналоге. По восстановленным значениям определяются расчетные параметры.

Графоаналитический метод

При приведении параметров распределения к многолетнему периоду на начальных стадиях проектирования допускается применять графоаналитический метод. Приведение параметров распределения осуществляется в следующей последовательности:

- а). Строится график связи между значениями стока приводимого ряда наблюдений и ряда - аналога за совместный период наблюдений.
- б). По ряду - аналогу рассчитываются графоаналитическим методом параметры распределения, на основании которых строится аналитическая кривая распределения.
- в). С аналитической кривой распределения снимаются три квантиля распределения (5%, 50%, 95%). Могут использоваться и схемы с пятью квантилями (1%, 5%, 50%, 95%, 99%).
- г). По графику равнообеспеченных значений стока определяются квантили 5%, 50% и 95% обеспеченности для короткого ряда наблюдений, приведенных к многолетнему периоду.

д). На основании приведенных к многолетнему периоду значений 5%, 50% и 95% обеспеченности в пункте приведения с помощью графоаналитического метода рассчитываются параметры распределения по формулам:

$$S = (x_{5\%} + x_{95\%} - 2x_{50\%}) / (x_{5\%} - x_{95\%}), \quad (3.9)$$

$$\sigma = (x_{5\%} - x_{95\%}) / (\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}), \quad (3.10)$$

$$\bar{x} = x_{50\%} - \Phi_{50\%} \sigma, \quad (3.11)$$

где $x_{5\%}$, $x_{50\%}$, $x_{95\%}$ - значения расходов воды вероятностью превышения соответственно 5%, 50%, 95%, установленные по сглаженной эмпирической кривой распределения; $\Phi_{5\%}$, $\Phi_{50\%}$, $\Phi_{95\%}$ - нормированные ординаты биномиальной кривой распределения, соответствующие вычисленному значению коэффициента скошенности S . Значение коэффициента асимметрии определяется по функциональной зависимости от коэффициента S [7]. Эта информация имеется также в Рекомендациях по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных наблюдений [12]. По полученным значениям выборочных параметров распределения строится аналитическая кривая распределения и определяются расчетные значения гидрологических характеристик.

Исходные данные и данные приведенные к многолетнему периоду должны проверяться на однородность и стационарность в соответствии с работами [1,10,11], а также в соответствии с Рекомендациями по оценке однородности и стационарности гидрометеорологической информации [16].

4. Методы приведения параметров распределения к многолетнему периоду с учетом исторических сведений о выдающихся значениях гидрологических характеристик

Параметры кривых распределения гидрологических характеристик при наличии обоснованных сведений о выдающихся значениях речного стока y_N , которые не были превышены за N лет и которые устанавливаются из литературных, исторических, архивных и других источников, а так же путем опроса местных жителей, определяются следующим образом [17].

При учете одного выдающегося значения гидрологической характеристики, не входящего в непрерывный n -летний ряд данных гидрометрических наблюдений:

а) методом приближенного наибольшего правдоподобия в зависимости от статистик λ_2 и λ_3 , определяемых по формулам:

$$\lambda_2 = \frac{1}{N} \left(\lg \frac{y_N}{\bar{y}} + \frac{N-1}{n-1} \sum_{i=1}^n \lg \frac{y_i}{\bar{y}} \right), \quad (4.1)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{N} \left(\frac{y_N}{\bar{y}} \lg \frac{Q_N}{Q} + \frac{N-1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\bar{y}} \lg \frac{y_i}{\bar{y}} \right); \quad (4.2)$$

б) методом моментов по формулам:

$$\bar{Y} = \frac{1}{N} \left(y_N + \frac{N-1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \right), \quad (4.3)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\left(\frac{y_N}{\bar{y}} - 1 \right)^2 + \frac{N-1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i}{\bar{y}} - 1 \right)^2 \right]}, \quad (4.4)$$

$$C_s = \frac{1}{N} \left[\left(\frac{y_N}{\bar{y}} - 1 \right)^3 + \frac{n(N-1) \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i}{\bar{y}} - 1 \right)^3}{(n-1)(n-2)C_v^3} \right]. \quad (4.5)$$

С учетом двух выдающихся значений гидрологической характеристики соответственно за N_1 и N_2 лет, не входящих в n -летний непрерывный ряд гидрометрических наблюдений:

а) методом наибольшего правдоподобия по формулам:

$$\lambda_2 = \frac{1}{N_1} \lg \frac{y_{N_1}}{\bar{y}} + \frac{1}{N_2} \frac{N_1 - 1}{N_1} \lg \frac{y_{N_2}}{\bar{y}} + \frac{(N_1 - 1)(N_2 - 1)}{N_1 N_2} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg \frac{y_i}{\bar{y}}, \quad (4.6)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{N_1} \frac{y_{N_1}}{\bar{y}} \lg \frac{y_{N_1}}{\bar{y}} + \frac{1}{N_2} \frac{N_1 - 1}{N_1} \frac{y_{N_2}}{\bar{y}} \lg \frac{y_{N_2}}{\bar{y}} + \frac{(N_1 - 1)(N_2 - 1)}{N_1 N_2} \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\bar{y}} \lg \frac{y_i}{\bar{y}}, \quad (4.7)$$

б) методом моментов по формулам:

$$\bar{y} = \frac{1}{N_1} y_{N_1} + \frac{1}{N_2} \frac{N_1 - 1}{N_1} y_{N_2} + \frac{(N_1 - 1)(N_2 - 1)}{N_1 N_2} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (4.8)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N_1} \left(\frac{y_{N_1}}{\bar{y}} - 1 \right)^2 + \frac{1}{N_2} \frac{N_1 - 1}{N_1} \left(\frac{y_{N_2}}{\bar{y}} - 1 \right)^2 + \frac{(N_1 - 1)(N_2 - 1)}{N_1 N_2} \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i}{\bar{y}} - 1 \right)^2}, \quad (4.9)$$

$$C_s = \frac{1}{N_1} \left(\frac{y_{N_1}}{\bar{y}} - 1 \right)^3 + \frac{1}{N_2} \frac{N_1 - 1}{N_1} \left(\frac{y_{N_2}}{\bar{y}} - 1 \right)^3 + \frac{(N_1 - 1)(N_2 - 1)}{N_1 N_2} \frac{n \left(\sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i}{\bar{y}} - 1 \right)^3 \right)}{(n - 1)(n - 2) C_v^3}. \quad (4.10)$$

В общем случае при наличии ряда наблюдений за n лет наблюдений и j выдающихся значений гидрологических характеристик $y_{N_1}, y_{N_2}, \dots, y_{N_j}$, которые не превышены за $N_1, N_2, \dots, N_j$ лет за пределами n летнего периода наблюдений параметры кривой распределения рассчитываются:

а) методом приближенно наибольшего правдоподобия по формулам:

$$\lambda_2 = \frac{1}{N_1} \lg \frac{y_{N_1}}{\bar{y}} + \frac{1}{N_2} \frac{N_1 - 1}{N_1} \lg \frac{y_{N_2}}{\bar{y}} + \dots + \left(\frac{1}{N_j} \frac{N_1 - 1}{N_1} \frac{N_2 - 1}{N_2} \dots \frac{N_{j-1} - 1}{N_{j-1}} \right) \lg \frac{y_j}{\bar{y}} + \dots \dots + \frac{(N_1 - 1)(N_2 - 1) \dots (N_j - 1)}{N_1 N_2 \dots N_j} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg \frac{y_i}{\bar{y}}, \quad (4.11)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{N_1} \frac{y_{N_1}}{\bar{y}} \lg \frac{y_{N_1}}{\bar{y}} + \frac{1}{N_2} \frac{N_1 - 1}{N_1} \frac{y_{N_2}}{\bar{y}} \lg \frac{y_{N_2}}{\bar{y}} + \dots + \left(\frac{1}{N_j} \frac{N_1 - 1}{N_1} \frac{N_2 - 1}{N_2} \dots \frac{N_{j-1} - 1}{N_{j-1}} \right) \frac{y_j}{\bar{y}} \lg \frac{y_j}{\bar{y}} + \dots + \frac{(N_1 - 1)(N_2 - 1) \dots (N_j - 1)}{N_1 N_2 \dots N_j} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{\bar{y}} \lg \frac{y_i}{\bar{y}} \quad (4.12)$$

б) методом моментов определяются по формулам:

$$\bar{y} = \frac{1}{N_1} y_{N1} + \frac{1}{N_2} \frac{N_1 - 1}{N_1} y_{N2} + \frac{1}{N_3} \frac{N_1 - 1}{N_1} \frac{N_2 - 1}{N_2} y_{N3} + \dots + \left(\frac{1}{N_j} \frac{N_1 - 1}{N_1} \frac{N_2 - 1}{N_2} \dots \right. \\ \left. \dots \frac{N_{j-1} - 1}{N_{j-1}} \right) y_{Nj} + \dots + \frac{(N_1 - 1)(N_2 - 1) \dots (N_j - 1)}{N_1 N_2 \dots N_j} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.13)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N_1} \left(\frac{y_{N1}}{\bar{y}} - 1 \right)^2 + \frac{1}{N_2} \frac{N_1 - 1}{N_1} \left(\frac{y_{N2}}{\bar{y}} - 1 \right)^2 + \frac{1}{N_3} \frac{N_1 - 1}{N_1} \frac{N_2 - 1}{N_2} \left(\frac{y_{N3}}{\bar{y}} - 1 \right)^2 + \dots} \\ \sqrt{\dots + \left(\frac{1}{N_j} \frac{N_1 - 1}{N_1} \frac{N_2 - 1}{N_2} \dots \frac{N_{j-1} - 1}{N_{j-1}} \right) \left(\frac{y_{Nj}}{\bar{y}} - 1 \right)^2 +} \\ + \frac{(N_1 - 1)(N_2 - 1) \dots (N_j - 1)}{N_1 N_2 \dots N_j} \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i}{\bar{y}} - 1 \right)^2} \quad (4.14)$$

$$C_s = \frac{1}{N_1} \left(\frac{y_{N1}}{\bar{y}} - 1 \right)^3 + \frac{1}{N_1} \frac{N_1 - 1}{N_1} \left(\frac{y_{N2}}{\bar{y}} - 1 \right)^3 + \dots + \left(\frac{1}{N_j} \frac{N_1 - 1}{N_1} \frac{N_2 - 1}{N_2} \dots \right. \\ \left. \dots \frac{N_{j-1} - 1}{N_{j-1}} \right) \left(\frac{y_{Nj}}{\bar{y}} - 1 \right)^3 + \dots + \frac{(N_1 - 1)(N_2 - 1) \dots (N_j - 1)}{N_1 N_2 \dots N_j} \frac{n \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i}{\bar{y}} - 1 \right)^3}{(n - 1)(n - 2) C_v^3} \quad (4.15)$$

При учете одного выдающегося значения гидрологической характеристики, входящего в n -летний непрерывный ряд гидрометрических наблюдений параметры распределения определяются:

а) методом приближенно наибольшего правдоподобия в зависимости от статистик λ_2 и λ_3 по формулам:

$$\lambda_2 = \frac{1}{N} \left(\lg \frac{y_N}{\bar{y}} + \frac{N - 1}{n - 2} \sum_{i=1}^{n-1} \lg \frac{y_i}{\bar{y}} \right) \quad (4.16)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{N} \left(\frac{y_N}{\bar{y}} \lg \frac{y_N}{\bar{y}} + \frac{N - 1}{n - 2} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{y_i}{\bar{y}} \lg \frac{y_i}{\bar{y}} \right); \quad (4.17)$$

б) методом моментов по формулам:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \left(y_N + \frac{N - 1}{n - 1} \sum_{i=1}^{n-1} y_i \right) \quad (4.18)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N}[(\frac{y_N}{\bar{y}} - 1)^2 + \frac{N-1}{n-2} \sum_{i=1}^{n-1} (\frac{y_i}{\bar{y}} - 1)^2]} , \quad (4.19)$$

$$C_s = \frac{1}{N}[(\frac{y_N}{\bar{y}} - 1)^3 + \frac{(N-1)(n-1) \sum_{i=1}^{n-1} (\frac{y_i}{\bar{y}} - 1)^3}{(n-2)(n-3)C_v^3}] . \quad (4.20)$$

С учетом двух выдающихся значений гидрологических характеристик соответственно за N_1 и N_2 лет, входящих в n -летний непрерывный ряд гидрометрических наблюдений:

а) методом наибольшего правдоподобия по формулам:

$$\lambda_2 = \frac{1}{N_1} \lg \frac{y_{N_1}}{\bar{y}} + \frac{1}{N_2} \frac{N_1-1}{N_1} \lg \frac{y_{N_2}}{\bar{y}} + \frac{(N_1-1)(N_2-1)}{N_1 N_2} \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^{n-2} \lg \frac{y_i}{\bar{y}} , \quad (4.21)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{N_1} \frac{y_{N_1}}{\bar{y}} \lg \frac{y_{N_1}}{\bar{y}} + \frac{1}{N_2} \frac{N_1-1}{N_1} \frac{y_{N_2}}{\bar{y}} \lg \frac{y_{N_2}}{\bar{y}} + \frac{(N_1-1)(N_2-1)}{N_1 N_2} \frac{1}{n-3} \sum_{i=1}^{n-2} \frac{y_i}{\bar{y}} \lg \frac{y_i}{\bar{y}} . \quad (4.22)$$

б) методом моментов по формулам:

$$\bar{y} = \frac{1}{N_1} y_{N_1} + \frac{1}{N_2} \frac{N_1-1}{N_1} y_{N_2} + \frac{(N_1-1)(N_2-1)}{N_1 N_2} \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^{n-2} y_i , \quad (4.23)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N_1} (\frac{y_{N_1}}{\bar{y}} - 1)^2 + \frac{1}{N_2} \frac{N_1-1}{N_1} (\frac{y_{N_2}}{\bar{y}} - 1)^2 + \frac{(N_1-1)(N_2-1)}{N_1 N_2} \frac{1}{n-3} \sum_{i=1}^{n-2} (\frac{y_i}{\bar{y}} - 1)^2} , \quad (4.24)$$

$$C_s = \frac{1}{N_1} (\frac{y_{N_1}}{\bar{y}} - 1)^3 + \frac{1}{N_2} \frac{N_1-1}{N_1} (\frac{y_{N_2}}{\bar{y}} - 1)^3 + \frac{(N_1-1)(N_2-1)(n-2) \sum_{i=1}^{n-2} (\frac{y_i}{\bar{y}} - 1)^3}{N_1 N_2 (n-3)(n-4)C_v^3} . \quad (4.25)$$

В общем случае при наличии ряда наблюдений за n лет и j выдающихся значений гидрологической характеристики, входящих в число непрерывных наблюдений, которые не были превышены за $N_1, N_2, \dots, N_j$ лет параметры кривой распределения определяются:

а) методом приближенного наибольшего правдоподобия по формулам:

$$\lambda_2 = \frac{1}{N_1} \lg \frac{y_{N1}}{\bar{y}} + \frac{1}{N_2} \frac{N_1-1}{N_1} \lg \frac{y_{N2}}{\bar{y}} + \frac{1}{N_3} \frac{N_1-1}{N_1} \frac{N_2-1}{N_2} \lg \frac{y_{N3}}{\bar{y}} + \dots$$

$$\dots + \left(\frac{1}{N_j} \frac{N_1-1}{N_1} \frac{N_2-1}{N_2} \dots \frac{N_{j-1}-1}{N_{j-1}} \lg \frac{y_{Nj}}{\bar{y}} + \dots + \frac{(N_1-1)(N_2-1)\dots(N_j-1)}{N_1 N_2 \dots N_j} \frac{1}{n-j} \sum_{i=1}^{n-j} \lg \frac{y_i}{\bar{y}} \right), \quad (4.26)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{N_1} \frac{y_{N1}}{\bar{y}} \lg \frac{y_{N1}}{\bar{y}} + \frac{1}{N_2} \frac{N_1-1}{N_1} \frac{y_{N2}}{\bar{y}} \lg \frac{y_{N2}}{\bar{y}} + \frac{1}{N_3} \frac{N_1-1}{N_1} \frac{N_2-1}{N_2} \frac{y_{N3}}{\bar{y}} \lg \frac{y_{N3}}{\bar{y}} + \dots$$

$$\dots + \left(\frac{1}{N_j} \frac{N_1-1}{N_1} \frac{N_2-1}{N_2} \dots \frac{N_{j-1}-1}{N_{j-1}} \frac{y_{Nj}}{\bar{y}} \lg \frac{y_{Nj}}{\bar{y}} + \dots \right) \quad . \quad (4.27)$$

$$\dots + \frac{(N_1-1)(N_2-1)\dots(N_j-1)}{N_1 N_2 \dots N_j} \frac{1}{n-j} \sum_{i=1}^{n-j} \frac{y_i}{\bar{y}} \lg \frac{y_i}{\bar{y}}$$

б) методом моментов определяются по формулам:

$$\bar{y} = \frac{1}{N_1} y_{N1} + \frac{1}{N_2} \frac{N_1-1}{N_1} y_{N2} + \frac{1}{N_3} \frac{N_1-1}{N_1} \frac{N_2-1}{N_2} y_{N3} + \dots$$

$$\dots + \left(\frac{1}{N_j} \frac{N_1-1}{N_1} \frac{N_2-1}{N_2} \dots \frac{N_{j-1}-1}{N_{j-1}} \right) y_{Nj} + \dots \quad , \quad (4.28)$$

$$\dots + \frac{(N_1-1)(N_2-1)\dots(N_j-1)}{N_1 N_2 \dots N_j} \frac{1}{n-j} \sum_{i=1}^{n-j} y_i$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N_1} \left(\frac{y_{N1}}{\bar{y}} - 1 \right)^2 + \frac{1}{N_2} \frac{N_1-1}{N_1} \left(\frac{y_{N2}}{\bar{y}} - 1 \right)^2 + \frac{1}{N_3} \frac{N_1-1}{N_1} \frac{N_2-1}{N_2} \left(\frac{y_{N3}}{\bar{y}} - 1 \right)^2 + \dots}$$

$$\dots + \left(\frac{1}{N_j} \frac{N_1-1}{N_1} \frac{N_2-1}{N_2} \dots \frac{N_{j-1}-1}{N_{j-1}} \right) \left(\frac{y_{Nj}}{\bar{y}} - 1 \right)^2 + \dots + \frac{(N_1-1)(N_2-1)\dots(N_j-1)}{N_1 N_2 \dots N_j} \frac{1}{n-j-1} \sum_{i=1}^{n-j} \left(\frac{y_i}{\bar{y}} - 1 \right)^2, \quad (4.29)$$

$$C_s = \frac{1}{N_1} \left(\frac{y_{N1}}{\bar{y}} - 1 \right)^3 + \frac{1}{N_2} \frac{N_1-1}{N_1} \left(\frac{y_{N2}}{\bar{y}} - 1 \right)^3 + \frac{1}{N_3} \frac{N_1-1}{N_1} \frac{N_2-1}{N_2} \left(\frac{y_{N3}}{\bar{y}} - 1 \right)^3 + \dots$$

$$\dots + \frac{1}{N_j} \frac{(N_1-1)(N_2-1)\dots(N_j-1)}{N_1 N_2 \dots N_j} \frac{(n-j) \sum_{i=1}^{n-j} \left(\frac{y_i}{\bar{y}} - 1 \right)^3}{(n-j-1)(n-j-2)C_v^3} \quad . \quad (4.30)$$

В формулах (4.1) - (4.30) $\bar{y}$ - среднее арифметическое значение, рассчитанное с учетом выдающегося значения расхода воды ; n - число лет непрерывных наблюдений; N - число лет, в течение которых выдающееся значение гидрологической характеристики не было превышено.

Использование формул (4.1) - (4.30) допускается лишь в том случае, когда исторические сведения о выдающемся гидрологическом значении и числе лет его не превышения достаточно обоснованы. Произвольное задание y_N и N недопустимо.

Эмпирическая ежегодная вероятность превышения P_m гидрологических характеристик определяется по формуле:

$$P_m = \frac{m}{n+1} 100\% , \quad (4.31)$$

где m - порядковый номер членов ряда гидрологической характеристики, расположенных в убывающем порядке; n - общее число членов ряда.

При числе лет превышения выдающегося значения гидрологической характеристики $N_1, N_2, \dots, N_J$, входящих в n лет непрерывных гидрометрических наблюдений эмпирические обеспеченности выдающихся значений гидрологических характеристик определяются заменой в знаменателе формулы (4.31) n на $N_1, N_2, \dots, N_J$ ранжированных выдающихся значений гидрологической характеристики. Для остальных членов ряда стационарных наблюдений используется формула (4.31), в которой в знаменателе для первого члена оставшихся членов ряда приводится разность между числом членов ряда стационарных наблюдений и числом выдающихся значений гидрологической характеристики. В числителе приводятся значения ранжированных членов ряда стационарных наблюдений. При этом первому из оставшихся членов ряда присваивается ранг, представляющий собой разность между числом членов ряда стационарных наблюдений и числом исторических максимумов рассматриваемой гидрологической характеристики. Для остальных членов оставшегося ряда число в числителе последовательно уменьшается на единицу.

При числе лет превышения выдающихся значений гидрологических характеристик $N_1, N_2, \dots, N_J$ не входящих в непрерывный ряд стационарных наблюдений в знаменателе формулы (4.1) используется как и ранее вместо n ранжированные значения $N_1, N_2, \dots, N_J$. Для стационарных наблюдений используется формула 4.31 без изменений. В случае, когда выдающиеся значения гидрологической характеристики входят в число членов ряда непрерывных стационарных наблюдений и за пределами этого же ряда, то эмпирические обеспеченности стационарных наблюдений и выдающихся значений устанавливаются на основании двух предыдущих случаев.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

А.1 Пример приведения к многолетнему периоду ряда и параметров распределения годового стока р. Съежа - д. Стан по методике, основанной на одновременном использовании нескольких пунктов - аналогов на различных временных интервалах.

По ряду р.Съежа - д.Стан (площадь водосбора равна 407 км^2) имеются наблюдения за 1971 - 1992 г.г. ($n=22$ года). Для приведения ряда к многолетнему периоду выбраны семь предполагаемых аналогов, имеющих различные периоды наблюдений. Так как многочисленные практические расчеты показали, что число одновременно используемых статистически значимых и устойчивых уравнений не превышает трех, перебор расчетных уравнений регрессии, отвечающих требованиям условий (1.1) начинаем с одновременного использования трех аналогов. Сведения о предполагаемых аналогах приведены в таблице А.1. Индексы при значениях q соответствуют номеру аналога согласно таблице А.1.

Таблица А.1- Сведения о предполагаемых аналогах

Номер аналога	Река- пункт	Площадь водосбора, км^2	Число лет наблюдений
1	р.Волчина - с.Волчинское лесничество	2990	39
2	р.Меглинка -д.Русское Пестово	700	38
3	р.Кобож - д.Мощеник	2350	54
4	р.Молога – с.Спас- Забережье	10200	60
5	р.Тихвинка - д.Горелуха	2070	110
6	р.Мста- с.Березовский рядок	5180	69
7	р.Волга- г.Старица	21100	102

Согласно условиям (1.1) не прошло ни одного уравнения с одновременно используемыми тремя аналогами. С использованием двух аналогов рассчитаны два уравнения, отвечающие этому условию. В данном случае $R_{кр.}$ назначено равным 0,60. По уравнению $q = -1,08 + 0,92q_1 + 0,51q_3$ с коэффициентом множественной корреляции $R = 0,96$ и со средней квадратической погрешностью расчета годичных значений модулей годового стока, равной $0,85 \text{ л/с км}^2$, восстановлено 17 членов ряда (1954 - 1970 г.г.). Объем эквивалентно - независимой информации для среднего значения равно 14 годам, для дисперсии - 12,3 годам. По уравнению $q = -1,17 + 0,78 q_3 + 0,70 q_4$ с коэффициентом

множественной корреляции $R = 0,93$ и со средней квадратической погрешностью расчета годовых значений модулей годового стока, равной $1,08 \text{ л/с км}^2$, восстановлено 18 членов ряда (1935 - 1939, 1941 - 1953 г.г.). Объем эквивалентно - независимой информации для среднего значения равен 13,1 года, для дисперсии - 10,6 лет.

Далее при восстановлении годовых значений модулей стока использованы уравнения с одним аналогом соответственно с меньшим коэффициентом корреляции, чем предыдущие. По уравнению $q = -0,59 + 1,30 q_3$ с коэффициентом корреляции, равным 0,90, и со средней квадратической погрешностью $1,26 \text{ л/с км}^2$ восстановлен модуль годового стока за 1940 год, что соответствует объему эквивалентно - независимой информации по среднему - 0,8 года, а по дисперсии - 0,6 года. По уравнению $q = 1,19 + 1,15 q_4$ с коэффициентом корреляции 0,84 и со средней квадратической погрешностью $1,58 \text{ л/с км}^2$ восстановлен сток за 1933, 1934 годы, что соответствует объему эквивалентно - независимой информации соответственно для среднего значения и дисперсии 1,3 и 1,0 лет. По уравнению $q = -2,08 + 0,59 q_5 + 0,61 q_7$ с коэффициентом корреляции 0,78 и со средней квадратической погрешностью $1,85 \text{ л/с км}^2$ восстановлены модули годового стока за 42 года (1891 - 1932 г.г.) Объем эквивалентно-независимой информации для среднего значения равно 12,6 годам, а для дисперсии - 6,7 годам. По уравнению $q = -0,44 + 0,88 q_5$ с коэффициентом корреляции 0,68 и со средней квадратической погрешностью $2,15 \text{ л/с км}^2$ восстановлены модули годового стока за 1882 - 1890 годы. Объем эквивалентно - независимой информации составил соответственно 2,9 и 1,4 года. Сведения об уравнениях регрессии и их параметрах приведены в таблице А.2.

Таким образом, восстановлены модули годового стока р. Съежа - д. Стан за период 1882 - 1970 годы. Вместе с наблюдаемыми данными имеем период 111 лет, что соответствует объему эквивалентно - независимой информации для среднего значения 66,7 годам, а для дисперсии - 54,6 годам. По ряду, приведенному к многолетнему периоду (таблица А.3) рассчитываются параметры распределения согласно Рекомендациям по расчету параметров гидрологических характеристик при наличии данных наблюдений достаточной продолжительности [12] или согласно Своду правил [1] .

Таблица А.2 - Сведения об уравнениях, по которым восстановлены значения стока р.Сьежа -д.Стан

Уравнения регрессии, по которым восстановлены модули годового стока	Годы, по которым восстановлены модули годового стока	Коэффициенты парной корреляции			R	σ_R	N <i>восст.</i>	$N_{\sigma q}$	$N_{\sigma \sigma}$
$q = -1,08 + 0,92q_1 + 0,51q_3$	1954-1970	0,94	0,91	0,86	0,96	0,02	17	14,0	12,3
$q = -1,17 + 0,78q_3 + 0,70q_4$	1935-1939, 1941- 1953	0,91	0,88	0,85	0,93	0,05	18	13,1	10,6
$q = -0,59 + 1,30 q_3$	1940				0,90	0,05	1	0,8	0,6
$q = 1,19 + 1,15q_4$	1933, 1934				0,84	0,07	2	1,3	1,0
$q = -2,08 + 0,59q_5 + 0,6q_7$	1891-1932	0,68	0,67	0,51	0,78	0,10	42	12,6	6,7
$q = -0,44 + 0,88q_5$	1882-1890				0,68	0,13	9	2,9	1,4
Объем эквивалентно- независимой информации для всего ряда равен							111	66,7	54,6

Таблица А.3 – Восстановленные и наблюдаемые значения модулей годового стока (q л/с км²) р.Сьежа-д.Стан.

Годы	q , л/с км ²	Годы	q , л/с км ²	Годы	Q , л/с км ²	Годы	Q , л/с км ²	Годы	q , л/с км ²
1882	2,99	1905	10,8	1928	11,0	1951	8,96	1974	6,28
1883	5,73	1906	7,26	1929	7,54	1952	11,8	1975	5,95
1884	6,48	1907	6,79	1930	6,54	1953	14,1	1976	8,27
1885	5,73	1908	13,2	1931	7,76	1954	8,02	1977	13,0
1886	2,99	1909	8,91	1932	10,2	1955	14,6	1978	11,7
1887	6,61	1910	5,60	1933	8,91	1956	10,4	1979	8,70
1888	10,7	1911	8,06	1934	8,26	1957	13,7	1980	9,15
1889	8,11	1912	5,04	1935	12,7	1958	13,6	1981	11,3
1890	5,05	1913	5,85	1936	7,51	1959	9,55	1982	8,18
1891	2,84	1914	6,25	1937	3,66	1960	6,69	1983	9,78
1892	7,61	1915	8,17	1938	4,74	1961	10,1	1984	12,0

Окончание таблицы А.3

Годы	q, л/с км ²	Годы	q, л/с км ²	Годы	Q, л/с км ²	Годы	Q, л/с км ²	Годы	q, л/с км ²
1893	7,41	1916	9,36	1939	3,15	1962	11,4	1985	9,15
1894	14,4	1917	9,46	1940	3,60	1963	4,58	1986	9,01
1895	9,51	1918	10,0	1941	6,53	1964	5,47	1987	10,4
1896	7,15	1919	5,59	1942	8,04	1965	8,37	1988	8,48
1897	3,95	1920	3,18	1943	5,95	1966	12,9	1989	8,45
1898	7,69	1921	2,71	1944	3,88	1967	7,97	1990	13,6
1899	12,6	1922	7,88	1945	5,54	1968	9,13	1991	10,7
1900	7,94	1923	9,79	1946	7,86	1969	7,96	1992	5,65
1901	7,06	1924	7,69	1947	8,49	1970	7,14		
1902	12,5	1925	6,88	1948	6,95	1971	3,77		
1903	13,0	1926	9,20	1949	5,80	1972	3,12		
1904	6,83	1927	9,28	1950	8,55	1973	3,78		

А.2 Пример восстановления гидрологического ряда с учетом независимой случайной составляющей.

В качестве исходной информации взяты среднегодовые расходы воды р. Днепр у г. Орша за 1882 – 1947 гг. (таблица А.4). Восстановление гидрологического ряда производится по уравнению регрессии с учетом отклонений от линии регрессии по нормальному закону распределения.

Для примера разделим исходный ряд на две части. Предположим, что имеются данные за 1882 – 1911 гг. (y_i) и требуется восстановить значения расходов за последующий период с 1912 г. по 1947 г.

В качестве аналога выбран ряд среднегодовых расходов воды р. Оки у г. Калуги (x_i), коэффициент корреляции $r_{xy} = 0,835$. Определим параметры этих рядов за период наблюдений с 1882 по 1911 гг.:

р. Днепр: $\bar{y}_i = 127 \text{ м}^3/\text{с}$; $\sigma_y = 33,7$; $C_{vy} = 0,27$;

р. Ока: $\bar{x}_i = 307 \text{ м}^3/\text{с}$; $\sigma_x = 78,9$; $C_{vx} = 0,26$.

С учетом этих параметров уравнение регрессии примет вид:

$$y_i = 127 + 0,835 \frac{33,7}{78,9} (x_i - 307) , \quad (\text{А.1})$$

$$y_{\text{регр.}} = 0,36x_i + 17,6 . \quad (\text{А.2})$$

Используя уравнение (А.2) и значения расходов воды реки – аналога x_i за восстанавливаемый период, получаем значения $y_{i\text{рег}}$. (таблица А.4, столбец 7).

Восстановим значения y_i по формуле (6.2), т. е. при условии, что колебания независимой составляющей подчинены нормальному распределению.

Для нашего примера в рассчитанные по уравнению (А.2) годовые значения y_i за период с 1912г. по 1947г. внесем независимую случайную составляющую, определяемую по выражению

$$\varphi_{pi} \cdot 33,7 \sqrt{1-0,835^2} = \varphi_{pi} \cdot 18,5 . \quad (\text{А.3})$$

Тогда откорректированные значения y_i получим по формуле:

$$y_i = y_{i\text{рег}} + \varphi_{pi} \sigma_y \sqrt{1-r^2} . \quad (\text{А.4})$$

Расчет производится в следующем порядке (таблица А.4):

1. Выписываем из таблицы равномерно распределенных случайных чисел (таблица А.5) 30-ти членный ряд четырехзначных случайных чисел ξ_i . От значений ξ_i переходим к значениям обеспеченностей $P_i = \xi_i / 100$ (таблица А.4, столбец 8).

Таблица А.5 Равномерно распределенные случайные числа, ξ_i

2822	0018
6703	8751
1970	8870
6881	2010
7502	6091
1134	5144
5523	5422
1154	5793
8142	0233
3183	7614
4230	5320
1771	2761
0568	0633
5304	6412
9452	2840

2. Переход от обеспеченностей P_i к величине отклонения φ_{pi} осуществляется с помощью стандартного нормального или гамма – распределения [1,15].
3. Полученное значение φ_{pi} относим к стандартному отклонению σ_y , т. е. умножаем на $\sigma_y=18,5$ (таблица А.4, столбец 10).
4. Суммируя годовые значения $u_{i\text{рег}}$. (таблица А.4, столбец 7) и рассчитанные по формуле (А.3) отклонения φ_{pi} , получаем по формуле (А.4) ряд значений u_i , восстановленных с учетом независимой случайной составляющей, распределенной по нормальному закону.

Таблица А.4 - Восстановление гидрологического ряда среднегодовых расходов воды р. Днепра у г.Орши (y_i) с использованием данных о стоке воды реки-аналога (р. Ока–г. Калуга, x_i) и с учетом нормальной случайной составляющей

№ п/п	Годы	Данные наблюдений		Годы	Данные наблюдений, x_i	Восстановленные значения, $U_{рег.}$	Обеспеченность, $P, \%$	Случайное отклонение,		Откорректированные восстановленные значения, y_i	Данные наблюдений, y_2
		x_i	y_i					φ_{pi}	$\varphi_{pi} \cdot 18,5$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1882	299	78,8	1912	310	129	28,2	0,59	11	140	103
2	1883	408	148	1913	261	112	67,0	-0,42	-8	104	103
3	1884	282	128	1914	247	107	19,7	0,85	16	123	98,4
4	1885	241	103	1915	398	161	68,8	-0,47	-9	152	134
5	1886	298	113	1916	347	143	75,0	-0,67	-12	131	169
6	1887	231	115	1917	418	168	11,3	1,20	22	190	177
7	1888	292	106	1918	220	96,9	55,2	-0,12	-2,2	94,7	122
8	1889	346	134	1919	313	130	11,5	1,19	22	152	113
9	1890	188	76,3	1920	258	111	81,4	-0,89	-16	95	84,8
10	1891	198	110	1921	138	67,4	31,8	0,80	15	82,4	60,3
11	1892	332	106	1922	184	83,9	42,3	0,20	3,7	87,6	124
12	1893	350	118	1925	234	102	17,7	0,92	17	119	99,5

Продолжение таблицы А.4

№ п/п	Годы	Данные наблюдений		Годы	Данные наблюдений, x_i	Восстановленные значения, $U_{рег.}$	Обеспеченность, $P, \%$	Случайное отклонение,		Откорректированные восстановленные значения, y_i	Данные наблюдений, y_2
13	1894	240	118	1926	360	147	5,68	1,57	29	176	130
14	1895	435	184	1927	362	148	53,0	-0,05	-9	139	193
15	1896	373	141	1928	382	155	94,5	-1,60	-30	125	150
16	1897	296	119	1929	314	131	0,18	2,90	54	185	150
17	1898	210	92,2	1930	176	81,1	87,5	-1,12	-20,7	60,4	956
18	1899	281	163	1931	404	163	88,7	-1,20	-22	141	151
19	1900	281	118	1932	337	139	20,1	0,84	16	155	158
20	1901	333	132	1933	449	179	60,9	-0,26	-5	174	202
21	1902	382	188	1934	274	116	51,4	-0,02	0	116	127
22	1903	259	120	1935	217	95,8	54,2	-0,10	-1,9	93,9	125
23	1904	235	93,0	1936	281	119	57,9	-0,18	-3	117	128
24	1905	326	135	1937	304	127	2,33	2,00	37	164	102
25	1906	329	133	1938	228	99,8	76,1	-0,70	-13	86,8	107
26	1907	378	136	1939	218	96,2	63,2	-0,30	-5,6	90,6	83,8
27	1908	540	229	1940	252	108	27,6	0,60	11	119	125

Окончание таблицы А.4

28	1909	389	175	1945	245	106	6,33	1,50	28	134	100
29	1910	240	99,3	1946	312	130	64,1	-0,35	-6	124	103
30	1911	219	102	1947	376	153	28,4	1,56	10	164	171

А.3 Пример восстановления годовичных значений стока с учетом материалов кратковременных наблюдений.

В основе данного способа восстановления годовичных значений стока лежит пространственная связанность рассматриваемой характеристики стока, которая может быть выражена в виде пространственной корреляционной функции (ПКФ). Чем медленнее затухает ПКФ, тем эффективнее будет данный способ восстановления годовичных значений стока. Предлагаемую схему восстановления годовичных значений стока рекомендуется использовать не только для кратковременных наблюдений за речным стоком от одного до пяти лет, а и более продолжительных наблюдений (см. раздел 2 настоящих Рекомендаций).

Рассмотрим использование рекомендуемой методики на примере восстановления годового стока р. Сьюча - д.Каменка, имеющей наблюдения с 1972 по 1976 годы. Для восстановления привлекались реки - аналоги в исследуемом районе, наблюдения по которым были приведены к многолетнему периоду согласно разделу 3 настоящих Рекомендаций. При восстановлении стока использовались уравнения, отвечающие условиям (1.1).

В каждом году использовалось число уравнений от одного до пяти (по ряду р.Сьюча - д.Каменка имелось 5 лет наблюдений). В некоторые годы из-за невыполнения условий (1.1) восстановление значений стока не произведено.

В табл. А.6 представлены восстановленные значения модулей годового стока q л/с км², N - число уравнений, используемых при восстановлении модулей годового стока, средние из рассчитанных по уравнениям регрессии коэффициенты корреляции R_{cp} , средние значения стандартной погрешности для каждого года σ_{cp} , а также наименьшие $\sigma_{мин.}$ и наибольшие $\sigma_{макс.}$ средние квадратические погрешности восстановления годовичных модулей стока.

Таблица А.6 - Результаты восстановления модулей годового стока р.Сьюча - д.Каменка с учетом кратковременных (1972 -1976 г.г.) наблюдений

Год	q л/с км ²	N	R_{cp}	σ_{cp}	$\sigma_{мин.}$	$\sigma_{макс.}$
1931	8,16	3	0,79	0,67	0,57	0,77
1932	7,60	5	0,94	0,39	0,11	0,56
1934	6,88	3	0,76	0,90	0,81	1,05
1935	9,85	4	0,74	1,55	1,40	1,80
1937	4,08	4	0,83	0,52	0,32	0,66

Продолжение таблицы А.6

1938	4,96	5	0,78	0,84	0,66	1,02
1939	3,44	5	0,85	0,43	0,37	0,51
1940	3,43	3	0,74	0,90	0,84	0,95
1942	7,29	5	0,83	1,36	0,89	1,54
1943	6,01	5	0,84	1,08	0,49	1,65
1944	4,54	3	0,71	0,93	0,73	1,06
1945	5,80	5	0,87	0,79	0,48	1,04
1946	6,50	4	0,72	0,83	0,67	0,97
1948	6,37	5	0,89	0,81	0,52	1,08
1949	5,84	5	0,86	1,08	0,43	1,55
1950	7,06	2	0,76	1,09	1,01	1,16
1952	9,40	3	0,65	1,81	1,58	1,93
1953	10,6	4	0,81	1,72	1,14	2,00
1954	7,08	4	0,77	1,25	0,92	1,40
1956	8,69	2	0,84	0,66	0,61	0,71
1957	10,3	5	0,82	1,25	0,87	1,41
1958	9,39	4	0,81	1,18	1,00	1,24
1959	7,70	5	0,73	0,84	0,68	0,95
1960	5,18	4	0,67	0,88	0,75	0,96
1961	8,62	5	0,70	0,92	0,82	1,03
1962	10,3	5	0,85	1,30	0,87	1,60
1963	5,01	5	0,76	0,87	0,56	1,07
1964	5,41	5	0,73	1,19	1,00	1,34
1965	7,27	3	0,66	1,29	1,19	1,34
1966	12,0	1	0,73	1,67	1,67	1,67
1967	8,05	3	0,69	1,49	1,31	1,59
1968	7,66	5	0,74	1,24	1,09	1,44
1969	7,71	4	0,73	1,88	1,40	2,19
1970	5,64	3	0,72	0,74	0,66	0,83
1971	4,68	5	0,81	1,25	0,78	1,71
1972	2,86					
1973	3,42					
1974	6,47					
1975	5,43					

Окончание таблицы А.6

1976	8,10					
1977	9,55	1	0,64	1,99	1,99	1,99
1981	9,47	2	0,67	1,26	1,23	1,29
1982	8,22	5	0,78	1,54	1,30	1,71
1983	9,07	3	0,68	1,64	1,42	1,76
1984	9,62	1	0,63	1,84	1,84	1,84
1985	7,68	2	0,70	0,86	0,80	0,91
1986	8,98	5	0,78	0,69	0,54	0,94
1987	9,80	2	0,70	0,95	0,92	0,99
1988	7,95	2	0,61	0,81	0,81	0,81
1989	9,09	5	0,76	1,33	0,78	1,71
1991	11,0	3	0,76	1,14	1,12	1,16
1992	6,90	4	0,73	1,07	0,86	1,30

По восстановленным данным рассчитываем параметры распределения ряда (среднее значение, коэффициент вариации), отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации и коэффициент автокорреляции определяем по групповой оценке согласно настоящим Рекомендациям по расчету параметров гидрологических характеристик при наличии данных наблюдений достаточной продолжительности и Своду правил [1] .

А.4 Пример восстановления нормы и квантилей распределения годового стока с учетом кратковременных наблюдений.

Рассмотрим пример приведения годового стока р. Пышма - свх. Асбестовский, площадь водосбора которого равна 1480 км² и имеются наблюдения за 1962 год. При восстановлении значений годового стока за все возможные годы использована методика, учитывающая кратковременные наблюдения согласно разделу 2 настоящих Рекомендаций.

Определим норму и квантили распределения по годичному уравнению регрессии, которое рассчитаем по рекам - аналогам за 1962 год. Наблюдения за 1962 год в исследуемом районе имелись по шести пунктам (таблица А.7).

Таблица А.7 - Сведения о пунктах - аналогах

№ п.п	Река - пункт	F км ²	n лет	x	Y	C _v	Cs/ C _v	Квантиль, %					
								10	25	75	90	95	99
1	р.Ялынка-с.Кальтюкова	62,6	43	2,1	2,6	0,6	2,0	4,5	3,3	1,5	0,9	0,7	0,4
2	р.Ница - г. Ирбит	17300	98	3,5	2,6	0,5	2,0	4,3	3,3	1,7	1,2	0,9	0,6
3	р.Реж - с. Ключи	4400	57	3,0	3,1	0,5	2,0	5,1	3,9	2,1	1,5	1,2	0,8
4	р.Бобровка – с.Липовское	101	44	4,8	3,8	0,4	2,0	5,8	4,7	2,8	2,2	1,9	1,3
5	р.Пышма - пгт. Са- рапулька	663	24	4,1	4,0	0,2	2,0	5,3	4,6	3,3	2,8	2,5	2,1
6	Р.Пышма - д.Зотина	11000	38	2,4	2,0	0,5	2,0	3,3	2,5	1,3	0,9	0,7	0,4

Предварительно по этим пунктам годовой сток был приведен к многолетнему периоду. По полученным параметрам распределения были рассчитаны значения стока заданной обеспеченности ($P = 10, 25, 75, 90, 95, 99 \%$). Имея значения годового стока по этим пунктам за 1962 год и среднее многолетнее значение стока, приведенные к многолетнему периоду, рассчитаем уравнение регрессии: $y = 0,753 x + 0,510$, коэффициент парной корреляции этого уравнения равен 0,835, его средняя квадратическая погрешность равна 0,135.

При значении модуля годового стока р.Пышма - свх. Асбестовский за 1962 год равном 3,54 л/с км² по этому уравнению определили среднее многолетнее значение, равное 3,18 л/с км². Абсолютное значение средней квадратической погрешности, определенное по формуле: $\sigma_{\bar{y}} = \sigma_0 \sqrt{1 - r^2}$ равно 0,45 л/с км², относительное - 14,2%.

Таким же образом, используя уравнения связи значений годового стока за 1962 год с расчетными значениями стока заданной обеспеченности рек - аналогов, определим расчетные квантили для р. Пышма - свх. Асбестовский. В таблице А.8 приведены уравнения регрессии зависимостей $y_p = f(x_i)$ для различных значений $P\%$, расчетные значения квантилей x_p , их абсолютные и относительные погрешности.

Таблица А.8 - Расчетные значения квантилей распределения x_p р. Пышма - свх. Асбестовский ($x_{1962} = 3,54$ л/с км², $\bar{x} = 3,18$ л/с км²)

Квантиль, $P\%$	Расчетное Уравнение	u_p	σ_{x_p} , л/с км ²	$\sigma_{x_p} \%$
10	$Y = 0,842x + 1,902$	4,88	0,63	12,9
25	$Y = 0,800x + 1,067$	3,90	0,50	12,8
75	$Y = 0,800x - 0,427$	2,26	0,45	19,9
90	$Y = 0,721x - 0,825$	1,73	0,46	26,6
95	$Y = 0,695x - 0,993$	1,47	0,45	30,6
99	$Y = 0,623x - 1,153$	1,05	0,45	42,8

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Б.1 АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НОРМЫ И КВАНТИЛЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ С УЧЕТОМ КРАТКОВРЕМЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Методика расчета норм и квантилей годового, максимального и минимального стока апробирована для пяти районов России, находящихся в различных физико-географических зонах. При оценке устойчивости и надежности уравнений регрессии для каждого расчетного створа, задача установления погрешностей решалась на независимом материале. При расчете уравнений связи годовых значений, норм и квантилей распределения стока коэффициенты корреляции, как правило, должны быть равны 0,8 – 0,9, но не менее 0,7.

Расчет и анализ случайных средних квадратических (стандартных) погрешностей ($\sigma_{\bar{y}}$, %) нормы годового стока осуществлен для рек бассейна Чусовой, который относится к западным склонам Уральских гор (14 постов); рек бассейна Тобол, который относится к восточным склонам Уральских гор и находящихся в лесной зоне (14 постов); рек бассейна Верхнего Дона, включая лога и ручьи Нижне - Девицкой стоковой станции, относящихся к лесостепной зоне (13 постов), рек бассейна Уссури (13 постов), рек бассейна Мологи, включающий 20 постов, находящихся в зоне умеренного увлажнения равнинной территории. Для последнего района расчеты погрешностей получены также для максимального и минимального стока. Для всех перечисленных районов и гидрологических характеристик случайные относительные стандартные погрешности ($\sigma_{\bar{y}}$, %) уменьшаются с увеличением числа лет наблюдений. Случайные стандартные погрешности расчета гидрологических характеристик зависят от выбора однородного гидрологического района, от освещенности этого района гидрометрической информацией.

Для реки Чусовая произведено сопоставление стандартных погрешностей расчета по методу отношений и методу годовых зависимостей. Во всех случаях погрешности расчета нормы годового стока уменьшаются с увеличением числа лет наблюдений (от 1 года до 5 лет). Погрешности расчета нормы годового стока по годовым уравнениям всегда меньше, чем по методу отношений, что подтверждается результатами, приведенными в таблицах Б.1 и Б.2.

Для этого же пункта рассчитаны стандартные погрешности квантилей распределения годового стока от 1 до 99 %, полученные по годовым уравнениям регрессии (таблица Б.3).

Анализ таблицы Б.3 показал, что погрешности расчета квантилей уменьшается с увеличением числа лет наблюдений для всех расчетных квантилей.

Таблица Б.1 - Стандартные погрешности расчета нормы годового стока р.Чусовая – пгт Кын, рассчитанные по годичным уравнениям регрессии

п, лет	1	2	3	4	5
$\sigma_{\text{абс.}}, \text{л/с}$	0	0	0	0	0
км^2	,42	,35	,30	,26	,24
$\sigma, \%$	6	5	4	3	3
	,2	,3	,4	,9	,6

В дальнейшем все расчеты выполнены только по годичным уравнениям.

Для рек бассейна Мологи с различными площадями водосборов норм годового стока при одном годе наблюдений стандартные погрешности в среднем изменяются от 10,5% до 4,5 % , при пяти годах наблюдений от 7,0% до 2,0 %. (таблица Б.4)

Для рек бассейна Верхнего Дона погрешности расчета норм годового стока значительно больше, чем в предыдущем районе, что связано с привлечением малых рек, ручьев и логов Нижне-Девичьей стокоской станции. Стандартные погрешности расчета норм годового стока в среднем изменяются от 42 % до 15 % для одного года наблюдений, а для пяти лет наблюдений изменяются от 32% до 5,2%. (таблица Б.5)

Предлагаемая методика апробирована для рек Предуралья (западные и восточные склоны Уральских гор). Первый район включает реки равнинной территории бассейна р.Тобола, второй - предгорный район (р. Чусовая, р. Сытва со средними высотами водосборов более 250 м). Стандартные погрешности расчета нормы годового стока рек бассейна Тобола изменяются от 11,8 до 43,6% для различных рек при одном году наблюдений до 7,8 – 23,1 % при пяти годах (таблица Б.6). Для второго района погрешности расчета нормы годового стока также уменьшаются с увеличением числа лет наблюдений, изменяясь от 6,2% до 20,6 % при одном годе наблюдений, до 3,6% -11,7 % при пяти годах наблюдений (таблица Б.7). Сравнительно малые погрешности объясняются высокой пространственной связанностью годового стока рек рассматриваемого района.

Аналогичным образом были получены случайные средние квадратические погрешности нормы годового стока для рек бассейна Уссури. При одном годе наблюдений погрешности расчета нормы годового стока для различных пунктов наблюдения изменялись от 6% до 18%, а при пяти годах наблюдений – от 1% до 16% (таблица Б.8). Небольшие погрешности объясняются высокой пространственной связанностью годового стока.

Таким образом, разработанная методика расчета нормы стока годового стока дает хорошие результаты применительно к различным районам России.

Для рек бассейна Мологи (Верхняя Волга) методика апробирована для таких характеристик, как сток весеннего половодья (слои стока и максимальные расходы) и 30-суточные минимальные расходы воды за летний и зимний периоды.

Погрешности расчета нормы перечисленных гидрологических характеристик всегда уменьшаются с увеличением числа лет наблюдений. Так, для слоев стока весеннего половодья при одном годе наблюдений стандартные относительные погрешности в среднем равны 10%, достигая 19,6 % для малых площадей водосборов с аazonальными факторами формирования стока (таблица Б.9), а для срочных расходов воды они, естественно, выше – в среднем 37 %, достигая 88,6 % для очень малых площадей водосборов. При пяти же годах наблюдений эти погрешности соответственно равны в среднем 24 %, достигая 87 % (таблица Б.10).

Необходимо отметить, что наибольшие относительные погрешности расчета нормы имеет минимальный сток. Анализ годовых уравнений минимальных расходов воды показал, что при высоких коэффициентах корреляции (до 0,99), стандартные погрешности расчета норм достигают 100 % и более. Эту ситуацию можно объяснить тем, что зависимости ориентированы на 2-3 точки, имеющие большие расходы воды по сравнению с минимальными расходами на остальных постах. В нижней части графиков связи группируются большая часть точек, для которых и получаем большие относительные погрешности. При расчетах в модулях стока коэффициенты корреляции уменьшились до 0,8 – 0,9, но при этом уменьшились и стандартные погрешности расчета норм минимального стока. Стандартные погрешности расчета нормы стока с учетом кратковременных наблюдений для 30 - суточного минимального стока за зимний период меньше (таблица Б.12), чем за летний период (таблица Б.11), что объясняется большей однородностью условий формирования стока за зимний период.

При определении средних квадратических погрешностей расчета квантилей распределения рассчитывались уравнения регрессии значений стока заданной обеспеченности со стоком конкретных лет для обеспеченностей от 1 до 99 % для р.Сутка – д.Речково (таблица Б.13). Стандартные погрешности рассчитывались относительно соответствующего квантиля, полученного по параметрам распределения, приведенным к многолетнему периоду. При расчете обеспеченных значений стока (квантилей) с использованием нескольких лет наблюдений осуществлялось их осреднение за эти годы.

Анализ полученных материалов для годового стока показал следующее. Абсолютные погрешности расчета σ_{yp} с увеличением обеспеченности до 50 %, как правило,

уменьшаются, а далее увеличиваются, достигая при 99 % двадцати процентов и более. С увеличением продолжительности кратковременных наблюдений стандартные погрешности расчета обеспеченных значений закономерно уменьшаются. Лишь в единичных случаях для некоторых обеспеченностей эта закономерность нарушается, что скорее всего связано с азональными условиями формирования стока этих рек.

Материалы кратковременных наблюдений использовались и для восстановления погодичных значений стока. Применение методики показано на примере годового и месячного стока р.Сьуча – д.Каменка.

Наблюдения за стоком по этому створу проводились за период с 1972 по 1976 годы. При восстановлении значений стока использовались уравнения, для которых коэффициенты корреляции больше 0,6, а его отношение к средней квадратической погрешностей больше двух.

В каждом году использовалось число уравнений от одного до пяти. В некоторые годы из-за невыполнения заданных условий (1.1) восстановление значений стока не произведено. В таблице Б.14 представлены стандартные погрешности для каждого года, а также средние значения коэффициентов корреляции и в последних колонках наибольшие и наименьшие стандартные погрешности восстановленных значений стока. Следует заметить, что среднее значение коэффициентов корреляции, как правило, превышает значение 0,7.

В таблице Б.15 в качестве примера приводятся результаты восстановления значений стока за апрель с 1932 по 1992 годы для р. Сьуча – д.Каменка. Подобные расчеты выполнены и для остальных месяцев года.

По изложенной методике осуществлялось восстановление годового и других видов стока по множеству постов, на которых проводились наблюдения до пяти лет, в виду ограниченности объема работы все таблицы не приводятся.

Таким образом, разработанная методика расчета нормы и квантилей распределения речного стока с использованием кратковременных (1–5 лет) наблюдений дает удовлетворительные результаты и рекомендована к применению в практику гидрологических и водохозяйственных расчетов.

Таким образом, разработанная методика расчета нормы и квантилей распределения речного стока с использованием кратковременных (1–5 лет) наблюдений дает удовлетворительные результаты и рекомендована к применению в практику гидрологических и водохозяйственных расчетов.

Таблица Б.2 - Стандартные погрешности нормы годового стока р. Чусовая – пгт. Кын

Номера аналогов	Число лет наблюдений, год									
	1		2		3		4		5	
	$\sigma_{аб}$ с., л/ с км ²	σ , %	$\sigma_{аб}$ с., л/с км ²	σ , %	$\sigma_{аб}$ с., л/с км ²	σ , %	$\sigma_{абс.,}$ л/с км ²	σ , %	$\sigma_{аб}$ с., л/с км ²	σ , %
1	0,65	9,7	0,58	8,6	0,55	8,1	0,54	8,0	0,54	8,0
1,2	0,63	9,4	0,50	7,5	0,43	6,5	0,41	6,1	0,39	5,9

Таблица Б.3 - Стандартные погрешности расчета квантилей распределения годового стока р. Чусовая – пгт. Кын, рассчитанные по годичным уравнениям регрессии

Число	Квантили, %															
	1		5		10		25		75		90		95		99	
	$\sigma_{абс.,}$ л/с км ²	σ , %	$\sigma_{абс.,}$ л/с км ²	σ , %	$\sigma_{абс.,}$ л/с км ²	σ , %	$\sigma_{абс.,}$ л/с км ²	σ , %	$\sigma_{абс.,}$ л/с км ²	σ , %	$\sigma_{абс.,}$ л/с км ²	σ , %	$\sigma_{абс.,}$ л/с км ²	σ , %	$\sigma_{абс.,}$ л/с км ²	σ , %
1	0,84	7,0	0,67	6,7	0,60	6,5	0,49	6,4	0,33	6,2	0,29	6,5	0,27	6,8	0,24	7,6
2	0,72	6,1	0,57	5,7	0,51	5,5	0,41	5,3	0,27	5,1	0,24	5,4	0,22	5,6	0,20	6,3
3	0,63	5,4	0,50	5,0	0,44	4,8	0,36	4,6	0,24	4,4	0,21	4,7	0,20	5,0	0,18	5,8
4	0,57	4,8	0,45	4,4	0,39	4,3	0,32	4,0	0,21	4,0	0,19	4,3	0,18	4,5	0,17	5,4

5	0,51	4,3	0,40	3,9	0,35	3,8	0,28	3,6	0,20	3,7	0,18	4,0	0,17	4,3	0,16	5,1
---	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----

Таблица Б.4 - Стандартные погрешности расчета нормы годового стока рек бассейна Мологи, рассчитанных по годичным уравнениям регрессии

Река- пункт	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений, n лет									
		1		2		3		4		5	
		$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$
р. Сутка- д.Речково	391	0,84	13,4	0,75	12,0	0,72	11,4	0,67	10,7	0,64	10,3
р. Ильдь – с. Спас-Ильдь	185	0,67	9,8	0,47	6,9	0,38	5,6	0,29	4,3	0,26	3,7
р. Сить – д. Игнатово	1760	0,44	6,5	0,36	5,3	0,33	4,9	0,32	4,7	0,32	4,7
р.Реня – д. Любер	523	0,46	7,1	0,42	6,4	0,39	6,0	0,35	5,4	0,34	5,2
р. Молога – д. Ильицино	396	0,74	11,8	0,50	8,0	0,44	6,9	0,32	5,2	0,32	5,1
р. Молога – д. Спас - Забережье	10200	0,47	7,5	0,40	6,5	0,38	6,1	0,37	6,0	0,36	5,8
р. Молога – д. Устюжна	19100	0,30	4,4	0,24	3,5	0,19	2,8	0,18	2,6	0,17	2,5
р. Могоча – д.Борисоглеб	1230	0,34	4,9	0,25	3,6	0,20	2,9	0,16	2,4	0,11	1,6
р Кобожа –д. Мощеник	2350	0,45	6,1	0,37	5,0	0,33	4,5	0,31	4,2	0,28	3,9
р.Чагодоша – с. Анисимово	2720	0,50	6,1	0,43	5,2	0,39	4,7	0,37	4,5	0,38	4,6
р.Чагодоша –с. Мегрино	7330	0,41	5,0	0,38	4,6	0,36	4,4	0,37	4,5	0,40	4,9
р. Лидь – рзд. Тургош	1420	0,93	10,2	0,84	9,1	0,80	8,8	0,80	8,8	0,82	9,0
р. Песь – д. Яхново	633	0,99	11,0	0,81	9,0	0,72	8,0	0,65	7,2	0,59	6,5
р. Волчина – Волчинское лестничество	2990	0,50	7,4	0,40	5,9	0,34	5,0	0,27	4,0	0,25	3,6
р. Меглинка – д. Русское Пестово	700	0,48	6,5	0,38	5,3	0,36	4,9	0,36	4,9	0,36	5,0
Р. Кобожа- д. Горны	1350	0,41	5,7	0,38	5,2	0,35	4,9	0,34	4,7	0,30	4,2
Р. Шалочь –д. Шутово	207	0,90	15,7	0,88	15,4	0,87	15,1	0,88	15,3	0,90	15,8
Р. Молога – д. Боровское	5750	0,27	4,3	0,20	6,1	0,17	2,6	0,13	2,1	0,12	2,0
Р. Лама – д. Николо-высокое	184	0,55	8,0	0,40	5,8	0,31	4,5	0,27	3,9	0,38	4,0
Р. Внина –д. Середка	497	0,55	7,0	0,51	6,5	0,50	6,4	0,51	6,5	0,50	6,3

Таблица Б.5 - Стандартные погрешности расчета нормы годового стока рек бассейна Дона, рассчитанные по годичным уравнениям регрессии

Река- пункт	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений, n лет									
		1		2		3		4		5	
		$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$
р. Тим – с.Новые Савины	909	0,86	19,7	0,70	16,0	0,64	14,6	0,64	14,7	-	-
р. Девица – г. Нижнедевицк	76,0	0,67	16,5	0,61	15,1	0,56	13,8	0,50	12,2	0,44	1,2
руч. Ясенок	21,7	0,55	14,1	0,45	11,5	0,43	11,0	0,40	10,4	0,38	5,2
лог Долгий	2,57	0,62	100	0,56	90,8	0,57	91,4	-	-	-	-
лог Татьянин	0,18	0,59	18,3	0,36	11,0	0,17	5,2	0,20	6,3	-	-
лог Медвежий	2,55	0,46	30,8	0,42	28,1	0,37	24,7	0,33	22,4	-	-
лог Ивкин	0,55	0,58	34,7	0,39	23,6	0,38	23,1	-	-	-	-
лог Круглый	0,83	0,56	40,4	0,49	35,4	0,33	23,7	0,26	18,8	0,15	11,0
р. Девица – с. Девица	1490	0,37	10,3	0,24	6,7	0,21	5,7	0,19	5,3	0,21	5,9
лог Барский	3,16	0,47	26,7	0,40	22,3	0,30	17,1	0,39	21,7	-	-
руч. Малый Репный	0,23	0,85	41,8	0,59	28,9	0,36	17,8	0,33	16,0	0,42	20,4
лог Малютка	0,06	0,77	43,2	0,67	37,9	0,62	35,0	0,58	32,3	0,58	32,3
лог Барсук	10,7	0,59	35,7	0,49	29,4	0,38	23,3	0,27	16,1	0,19	11,7

Таблица Б.6 - Стандартные погрешности расчета нормы годового стока рек бассейна Тобола, рассчитанных по годичным уравнениям регрессии

Река- пункт	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений, n лет									
		1		2		3		4		5	
		$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$
р. Ялынка – с.Костюкова	62,6	0,63	24,8	0,58	22,7	0,58	22,6	0,59	23,2	0,59	23,1
р. Ница – г.Ирбит	17300	0,33	12,6	0,32	12,3	0,32	12,3	0,32	12,3	0,32	12,3
р.Репс – с.Ключи	440	0,37	11,8	0,31	9,9	0,29	9,2	0,27	8,7	0,25	8,1
р. Бобровка –с. Липовское	101	0,69	17,9	0,60	15,7	0,55	14,2	0,51	13,4	0,48	12,4
р.Пышма –пгт. Сарапулка	663	0,66	16,5	0,60	15,1	0,61	15,2	0,57	14,2	0,58	14,4
р.Пышма – д. Зотино	11000	0,47	23,9	0,44	22,0	0,43	21,8	0,44	22,4	-	-
р.Юрмыч – д.Кипрушкино	935	0,61	28,2	0,55	23,0	0,41	19,2	0,38	17,6	0,35	16,3
р. Беяковка – д. Потаскуева	1700	0,72	43,6	0,66	39,7	0,52	31,5	0,41	24,6	0,41	24,4
р. Таборинка – Водолечебница	213	1,12	28,4	0,94	24,0	0,64	16,3	0,55	14,0	0,51	12,9
р. Синячиха – Верхняя Синячиха	552	0,70	18,0	0,57	15,2	0,44	11,7	0,33	8,8	0,29	7,8
р. Рефт – п. Шалейка	511	0,70	18,0	0,55	14,2	0,50	12,9	0,42	10,9	0,42	10,9
р. Малый Рефт – в 1,8 км	146	0,64	17,9	0,56	15,6	0,49	13,6	0,49	13,6	-	-
р. Малый Рефт – в 4,2 км	175	0,56	17,1	0,46	14,3	0,42	13,1	0,43	13,2	-	-
р. Балда д. Костылево	956	0,56	30,3	0,47	25,4	0,41	21,9	0,36	19,5	0,32	17,1

Таблица Б.7 - Стандартные погрешности расчета нормы годового стока рек бассейна Чусовой, рассчитанных по годичным уравнениям регрессии

Река- пункт	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений, n лет									
		1		2		3		4		5	
		$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma, \%$
р. Чусовая – д. Косой Брод	713	1,05	20,6	0,76	15,0	0,62	12,2	0,56	10,9	0,49	9,6
р. Чусовая – Сиароуткинск	5450	0,66	12,0	0,42	7,7	0,36	6,6	0,32	5,8	0,28	5,1
р. Чусовая – с. Усто-Утка	6960	0,70	12,6	0,66	11,8	0,65	11,6	0,65	11,6	0,65	11,7
р. Чусовая – пгт. Кын	10400	0,42	6,2	0,35	5,3	0,30	4,4	0,26	3,9	0,24	3,6
р. Чусовая – пгт. Лямино	21500	0,66	7,2	0,55	6,0	0,51	5,5	0,47	5,1	0,45	4,9
р. Сулем – с. Галышки	294	1,39	15,1	1,03	11,2	0,85	9,2	0,73	8,0	0,67	7,3
р. Сепебряная – Серебрянка	894	1,47	13,6	1,11	10,2	0,86	8,0	0,66	6,1	0,61	5,6
р. Усьва – пгт. Усьва	2170	2,28	15,1	1,79	11,8	1,47	9,8	1,37	9,0	1,31	8,7
р. Сылва – пгт. Шамары	3130	0,86	9,1	0,62	6,6	0,53	5,6	0,48	5,1	0,45	4,8
р. Сылва – с. Подкаменное	19700	0,84	11,2	0,63	8,4	0,57	7,6	0,50	6,7	0,47	6,2
р. Вогулка – пгт. Шмары	969	1,30	13,1	1,02	10,3	0,89	9,0	0,86	8,6	0,82	8,3
р. Барда – д. Петилова	1910	1,39	14,7	1,11	11,8	1,02	10,8	0,97	10,2	0,94	9,9
р. Ирень – д. Шубино	6060	1,11	17,0	0,89	13,6	0,82	12,4	0,76	11,5	0,70	10,7

Таблица Б.8 - Стандартные погрешности расчета нормы годового стока рек бассейна Уссури, рассчитанных по годичным уравнениям регрессии

Река- пункт	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений, n лет									
		1		2		3		4		5	
		$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma,$ %	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma,$ %	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma,$ %	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma,$ %	$\sigma_{абс.},$ л/с км ²	$\sigma,$ %
р. Уссури – м.ст. Березняки	536	1,41	13,1	1,1	10,5	0,88	8,2	0,74	6,9	0,77	7,2
р. Уссури – с.Чугуевка	3960	0,56	5,6	0,27	2,7	0,18	1,8	0,17	1,7	0,12	1,2
р. Уссури – с. Кокшаровка	9340	0,71	7,7	0,58	6,3	0,53	5,8	0,50	5,4	0,47	5,2
р. Извилинка – пос. Извилинка	1160	1,20	10,3	1,11	9,5	1,11	9,5	-	-	-	-
р. Матвеевка – с. Пшеницино	502	1,38	18,3	1,37	18,1	1,26	16,7	1,14	7,4	1,18	15,6
р. Каменка – с. Каменка	138	1,40	11,9	1,13	9,6	0,95	8,0	0,88	2,1	0,80	6,8
р. Павловка – с. Верхние Лужки	394	1,05	10,0	0,56	5,3	0,36	3,4	0,22	4,4	0,23	2,2
р. Павловка – с. Уборка	3350	0,57	6,0	0,52	5,5	0,45	4,8	0,41	1,3	0,38	4,0
р. Перевальная – с. Верхние Лужки	99	0,81	8,2	0,32	3,3	0,19	1,9	0,13	1,6	1,13	1,3
р. Журавлевка – пос. Журавлевка	3190	1,28	14,3	0,93	10,4	0,90	10,1	0,96	8,8	-	-
р. Арсеньевка – с. Новогордеевка	2710	0,74	8,6	0,52	6,0	0,35	4,1	0,31	3,6	0,35	4,0
р. Муравейка – пос. Гродеково	761	0,67	6,8	0,46	4,7	0,36	3,7	0,36	3,7	-	-
р. Арсеньевка – пос. Виноградовка	940	1,17	12,2	1,01	9,8	0,91	8,7	0,80	7,7	0,65	6,2

Таблица Б.9 - Стандартные погрешности расчета нормы слоя стока весеннего половодья рек бассейна Мологи, рассчитанных по годичным уравнениям регрессии

Река- пункт	Площадь водо- сбора, км ²	Период наблюдений, n лет									
		1		2		3		4		5	
		$\sigma_{абс.ММ}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.ММ}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.ММ}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.ММ}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.ММ}$	$\sigma, \%$
р. Сутка- д.Речково	391	11,8	8,3	5,5	3,8	3,7	2,6	4,2	2,9	2,7	1,9
р. Ильдь – с. Спас-Ильдь	185	16,7	10,8	12,9	8,3	11,4	7,1	-	-	-	-
р. Сить – д. Игнатово	1760	11,9	7,4	9,9	6,2	9,7	6,5	10,3	6,9	10,4	7,0
р.Реня – д. Любер	523	17,5	16,4	15,3	14,5	13,1	12,4	-	-	-	-
р. Молога – д. Ильицино	396	12,6	9,7	9,6	7,3	7,5	5,7	6,4	4,9	5,9	4,5
р. Молога – д. Спас - Забережье	10200	7,1	5,5	5,9	4,5	5,7	4,4	6,1	4,7	6,5	5,0
р. Молога – д. Устюжна	19100	5,0	3,7	4,2	3,1	3,8	2,9	3,9	2,9	4,0	3,0
р. Могоча – д.Борисоглеб	1230	10,9	7,2	9,9	6,6	9,8	6,5	9,4	6,2	8,3	5,5
р Кобожа –д. Мошеник	2350	10,1	7,5	8,0	6,0	7,1	5,3	7,1	5,3	3,8	2,8
р.Чагодоша – с. Анисимово	2720	15,8	13,4	12,0	10,2	11,1	9,5	10,5	8,9	8,5	7,2
р.Чагодоша –с. Мегрино	7330	8,5	6,6	6,6	5,2	6,1	4,7	4,9	3,8	1,8	1,4
р. Лидь – рзд. Тургош	1420	15,6	10,7	11,4	7,8	-	-	-	-	-	-
р. Песь – д. Яхново	633	20,1	19,6	18,6	11,7	16,4	10,3	17,0	10,7	14,5	9,1
р. Волчина – Волчинское лестничество	2990	12,6	10,2	10,3	8,4	8,6	7,1	7,0	5,7	5,1	4,1
р. Меглинка – д. Русское Пестово	700	10,0	8,2	10,6	8,7	11,2	9,1	-	-	-	-
р. Кобожа- д. Горны	1350	13,9	11,4	7,9	6,7	7,7	6,4	7,1	5,9	7,5	6,3
р. Шалочь –д. Шутово	207	17,9	17,1	15,7	15,0	13,4	12,8	-	-	-	-
р. Молога – д. Боровское	5750	11,0	7,6	7,2	4,9	6,3	4,4	5,9	4,1	3,0	2,1
р. Лама – д. Николо-высокое	184	21,1	19,2	28,3	20,6	36,1	30,1	-	-	-	-
р. Внина –д. Середка	497	6,7	4,7	3,7	2,6	3,6	2,6	-	-	-	-

Таблица Б.10 - Стандартные погрешности расчета максимальных расходов воды весеннего половодья рек бассейна Мологи, рассчитанных по годичным уравнениям регрессии

Река- пункт	Площадь водо- сбора, км ²	Период наблюдений, n лет									
		1		2		3		4		5	
		$\sigma_{абс. м3/с}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс. м3/с}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс., м3/с}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс., м3/с}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс. м3/с}$	$\sigma, \%$
р. Сутка- д.Речково	391	39,2	49,8	30,0	38,4	25,4	32,3	22,5	28,6	21,3	27,2
р. Ильдь – с. Спас-Ильдь	185	19,9	40,4	15,8	32,1	13,2	26,8	11,6	23,6	10,1	20,5
р. Сить – д. Игнатово	1760	45,1	19,6	36,0	15,5	31,1	13,4	29,0	12,5	27,1	11,7
р.Реня – д. Любер	523	15,9	26,2	11,5	9,0	10,0	16,5	9,0	15,0	8,7	14,3
р. Молога – д. Ильицино	396	28,9	71,3	21,1	53,4	18,7	47,2	17,6	44,4	17,1	43,2
р. Молога – д. Спас - Забережье	10200	103	18,9	61,5	10,9	46,1	8,1	43,4	7,7	39,3	6,9
р. Молога – д. Устюжна	19100	214	19,5	151	13,7	120	10,9	101	9,2	89,0	8,1
р. Могоча – д.Борисоглеб	1230	63,9	26,1	45,9	18,4	36,6	14,9	32,4	13,2	28,2	11,5
р Кобожя –д. Мощеник	2350	44,2	25,9	32,7	19,2	28,4	16,6	25,1	14,7	22,0	12,9
р.Чагодоша – с. Анисимово	2720	60,4	30,4	48,3	24,5	45,1	22,9	44,2	22,4	43,3	22,0
р.Чагодоша –с. Мегрино	7330	129	27,6	87,7	16,8	76,9	16,3	72,5	15,5	68,8	14,8
р. Лидь – рзд. Тургош	1420	34,8	35,3	30,3	30,7	28,6	28,9	27,7	28,0	26,6	27,0
р. Песь – д. Яхново	633	27,6	42,9	24,2	37,6	23,0	35,8	22,5	34,9	21,9	34,0
р. Волчина – Волчинское лестничество	2990	63,9	22,9	47,5	16,7	43,0	15,2	41,3	14,5	39,8	14,0
р. Меглинка – д. Русское Пестово	700	14,7	29,2	10,6	16,1	8,0	12,2	6,7	10,2	5,5	8,3
Р. Кобожя- д. Горны	1350	26,0	30,7	20,4	26,1	17,1	20,9	17,6	20,7	16,3	19,3
Р. Шалочь –д. Шутово	207	16,9	71,6	14,7	62,4	13,3	56,3	12,5	53,0	11,7	49,7
Р. Молога – д. Боровское	5750	133	31,1	119	27,9	115	27,2	115	27,0	114	26,8
Р. Лама – д. Николо-высокое	184	27,9	88,6	26,4	86,1	26,1	85,2	26,9	85,6	26,6	86,7
Р. Внина –д. Середка	497	25,6	36,1	21,1	29,8	19,6	27,6	18,8	26,5	17,9	25,3

Таблица Б.11 - Стандартные погрешности расчета нормы 30-суточных минимальных расходов воды за летний период рек бассейна Мологи, рассчитанных по годичным уравнениям регрессии

Река- пункт	Площадь водо- сбора, км ²	Период наблюдений, n лет									
		1		2		3		4		5	
		$\sigma_{абс.}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.}$	$\sigma, \%$
р. Сутка- д.Речково	391	0,4	106	0,3	96	0,3	94	0,3	93	0,3	92
р. Ильдь – с. Спас- Ильдь	185	0,3	129	0,3	119	0,3	116	0,3	115	0,3	114
р. Сить – д. Игнатово	1760	0,5	57	0,4	55	0,4	55	0,4	55	0,4	56
р. Реня – д. Любер	523	0,5	24	0,4	20	0,4	19	0,4	18	0,3	17
р. Молога – д. Ильицино	396	0,5	142	0,5	127	0,4	116	0,4	104	0,3	91
р. Молога – д. Спас - Забережье	10200	0,3	22	0,3	19	0,2	17	0,2	15	0,2	14
р. Молога – д. Устюжна	19100	0,3	18	0,3	13	0,2	11	0,2	10	0,2	10
р. Могоча – д.Борисоглеб	1230	0,4	53	0,3	45	0,3	42	0,3	40	0,3	39
р. Кобожа –д. Мощеник	2350	0,4	20	0,4	17	0,3	15	0,3	14	0,3	13
р. Чагодоша – с. Анисимово	2720	0,6	18	0,5	14	0,4	12	0,4	12	0,4	11
р. Чагодоша –с. Мегрино	7330	0,4	13	0,4	11	0,4	11	0,4	11	0,4	10
р. Лидь – рзд. Тургош	1420	1,1	29	0,9	23	0,8	22	0,8	22	0,8	21
р. Песь – д. Яхново	633	0,7	31	0,5	25	0,4	21	0,4	19	0,4	18
р. Волчина – Волчинское лестничество	2990	0,4	21	0,2	14	0,2	11	0,2	9	0,1	7
р. Меглинка – д. Русское Пестово	700	0,5	19	0,4	15	0,3	13	0,3	12	0,3	12
р. Кобожа- д. Горны	1350	0,6	26	0,5	21	0,4	17	0,3	14	0,3	12
р. Шалочь –д. Шутово	207	0,4	35	0,3	27	0,2	21	0,2	18	0,2	15
р. Молога – д. Боровское	5750	0,6	61	0,5	44	0,4	37	0,3	33	0,3	30
р. Лама – д. Николо-высокое	184	0,4	37	0,3	29	0,3	24	0,2	22	0,2	21
р. Внина –д. Середка	497	0,6	34	0,4	22	0,3	18	0,3	18	0,3	17

Таблица Б.12 - Стандартные погрешности расчета нормы 30-суточных минимальных расходов воды за зимний период рек бассейна Мологи, рассчитанных по годичным уравнениям регрессии

Река- пункт	Площадь водо- сбора, км ²	Период наблюдений, n лет									
		1		2		3		4		5	
		$\sigma_{абс.}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.}$	$\sigma, \%$	$\sigma_{абс.}$	$\sigma, \%$
р. Сутка- д.Речково	391	0,23	147	0,18	111	0,15	91	0,13	91	0,12	76
р. Ильдь – с. Спас-Ильдь	185	0,20	400	0,16	326	0,14	271	0,11	229	0,10	203
р. Сить – д. Игнатово	1760	0,69	49	0,55	39	0,48	34	0,45	32	0,44	31
р. Реня – д. Любер	523	0,25	23	0,21	19	0,18	17	0,17	16	0,16	15
р. Молога – д. Ильицино	396	0,44	272	0,35	220	0,28	175	0,20	127	0,14	85
р. Молога – д. Спас - Забережье	10200	1,90	17	1,21	14	0,92	8	0,73	7	0,71	6
р. Молога – д. Устюжна	19100	4,87	17	3,64	13	3,18	11	2,95	10	2,87	10
р. Могоча – д.Борисоглеб	1230	0,31	31	0,25	25	0,23	23	0,22	22	0,21	22
р. Кобожа –д. Мощеник	2350	0,83	21	0,56	14	0,46	11	0,39	10	0,36	9
р. Чагодоша – с. Анисимово	2720	1,50	20	1,06	14	0,94	14	0,83	11	0,79	11
р. Чагодоша –с. Мегрино	7330	3,47	20	2,64	15	2,19	12	1,98	11	1,97	11
р. Лидь – рзд. Тургош	1420	3,99	20	0,76	19	0,70	18	0,66	17	0,64	16
р. Песь – д. Яхново	633	1,14	46	0,42	37	0,37	42	0,34	30	0,31	28
р. Волчина – Волчинское лестничество	2990	4,79	19	0,79	17	0,75	16	0,73	15	0,72	15
р. Меглинка – д. Русское Пестово	700	1,43	33	0,36	25	0,31	22	0,28	19	0,24	17
р. Кобожа- д. Горны	1350	2,57	26	0,46	18	0,34	13	0,28	11	0,25	10
р. Шалочь –д. Шутово	207	0,19	75	0,17	64	0,16	60	0,15	57	0,14	55
р. Молога – д. Боровское	5750	1,25	36	0,98	28	0,80	23	0,70	20	0,67	19
р. Лама – д. Николо-высокое	184	0,14	72	0,11	57	0,09	46	0,08	39	0,07	35
р. Внина –д. Середка	497	0,21	35	0,14	25	0,13	23	0,12	20	0,11	18

Таблица Б.13 - Стандартные погрешности расчета квантилей распределения годового стока
при различном числе лет наблюдений, полученных по годичным уравнениям регрессии для р. Сутка – д. Речково

N, лет	Обеспеченности, Р%								
	1	5	10	25	75	80	90	95	99
1	0,93/7,93	0,88/8,88	0,87/9,57	0,85/11,2	0,96/20,2	0,96/21,6	0,97/26,7	0,98/33,0	0,98/53,1
2	0,79/6,70	0,75/7,58	0,75/8,26	0,75/9,87	0,86/18,1	0,86/19,4	0,87/24,1	0,90/30,1	0,90/48,7
3	0,69/5,90	0,68/6,81	0,68/7,52	0,70/9,20	0,83/17,4	0,83/18,6	0,85/23,4	0,87/29,3	0,88/47,6
4	0,59/5,05	0,59/5,95	0,60/6,68	0,64/8,40	0,81/17,0	0,81/18,3	0,84/23,0	0,86/29,0	0,88/47,6
5	0,50/4,28	0,52/5,27	0,55/6,06	0,60/7,90	0,80/16,7	0,80/18,1	0,83/22,8	0,86/28,8	0,89/48,1

Примечание:

В числителе приводятся абсолютные погрешности расчета квантилей (л/с км²) в знаменатели относительные погрешности в %.

Таблица Б.14 - Результаты восстановления годового стока р. Сьуча – д. Каменка с учетом кратковременных наблюдений

Год	q , л/с км ²	$\sigma_{абс.}$, л/с км ²	N	$R_{ср.д.}$	σ_{min}	σ_{max}	Год	q , л/с км ²	$\sigma_{абс.}$, л/с км ²	N	$R_{ср.д.}$	σ_{min}	σ_{max}
1931	8.16	0.67	3	0.79	0.57	0.77	1963	5.01	0.87	5	0.76	0.56	1.07
1932	7.60	0.39	5	0.94	0.11	0.56	1964	5.41	1.19	5	0.73	1.00	1.34
1934	6.88	0.90	3	0.76	0.81	1.05	1965	7.27	1.29	3	0.66	1.19	1.34
1935	9.85	1.55	4	0.74	1.40	1.80	1966	11.98	1.67	1	0.73	1.67	1.67
1937	4.08	0.52	4	0.83	0.32	0.66	1967	8.05	1.49	3	0.69	1.31	1.59
1938	4.96	0.84	5	0.78	0.66	1.02	1968	7.66	1.24	5	0.74	1.09	1.44
1939	3.44	0.43	5	0.85	0.37	0.51	1969	7.71	1.88	4	0.73	1.40	2.19
1940	3.43	0.90	3	0.74	0.84	0.95	1970	5.64	0.74	3	0.72	0.66	0.83
1942	7.29	1.36	5	0.83	0.89	1.54	1971	4.68	1.25	5	0.81	0.78	1.71
1943	6.01	1.08	5	0.84	0.49	1.65	1972	2.86	-	-	-	-	-
1944	4.54	0.93	3	0.71	0.73	1.06	1973	3.42	-	-	-	-	-
1945	5.80	0.79	5	0.87	0.48	1.04	1974	6.47	-	-	-	-	-
1946	6.50	0.83	4	0.72	0.67	0.97	1975	5.43	-	-	-	-	-
1948	6.37	0.81	5	0.89	0.52	1.08	1976	8.10	-	-	-	-	-
1949	5.84	1.08	5	0.86	0.43	1.55	1977	9.55	1.99	1	0.64	1.99	1.99
1950	7.06	1.09	2	0.76	1.01	1.16	1981	9.47	1.26	2	0.67	1.23	1.29
1952	9.40	1.81	3	0.65	1.57	1.93	1982	8.22	1.54	5	0.78	1.30	1.71
1953	10.61	1.72	4	0.81	1.14	2.00	1983	9.07	1.64	3	0.68	1.42	1.76
1954	7.08	1.25	4	0.77	0.92	1.40	1984	9.62	1.84	1	0.63	1.84	1.84
1956	8.69	0.66	2	0.84	0.61	0.71	1985	7.68	0.86	2	0.70	0.80	0.91
1957	10.27	1.25	5	0.82	0.87	1.41	1986	8.98	0.69	5	0.78	0.54	0.94
1958	9.39	1.18	4	0.81	1.00	1.24	1987	9.80	0.95	2	0.70	0.92	0.99
1959	7.69	0.84	5	0.73	0.68	0.95	1988	7.95	0.81	2	0.61	0.81	0.81
1960	5.18	0.88	4	0.67	0.75	0.96	1989	9.09	1.33	5	0.76	0.78	1.71
1961	8.61	0.92	5	0.70	0.82	1.03	1991	10.98	1.14	3	0.76	1.12	1.16
1962	10.29	1.30	5	0.85	0.87	1.60	1992	6.90	1.07	4	0.74	0.86	1.30

П р и м е ч а н и е:

N – число уравнений регрессии, использованных при восстановлении погодичных значений стока

**Таблица Б.15 - Результаты восстановления среднего месячного стока
р. Сьюча – д. Каменка за апрель с учетом кратковременных наблюдений**

Год	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$\sigma_{\text{абс.}}, \text{ м}^3/\text{с}$	N	$R_{\text{сред.}}$	Год	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$\sigma_{\text{абс.}}, \text{ м}^3/\text{с}$	N	$R_{\text{сред.}}$
1932	27,2	5,30	3	0,77	1962	64,4	10,5	5	0,81
1334	39,8	6,45	3	0,78	1963	26,9	4,48	5	0,86
1935	40,8	6,65	2	0,78	1964	30,2	5,29	5	0,85
1936	30,0	4,83	2	0,72	1965	37,6	8,28	5	0,82
1937	24,7	3,31	3	0,80	1967	48,2	10,1	4	0,78
1938	36,3	7,09	2	0,74	1968	51,2	8,82	5	0,76
1939	31,0	4,55	4	0,84	1969	39,3	9,10	5	0,79
1940	26,0	1,94	1	0,89	1970	44,2	7,27	2	0,76
1942	21,1	3,44	4	0,82	1971	31,8	6,45	5	0,84
1943	48,7	6,59	4	0,91	1972	23,0	-	-	-
1944	34,1	3,47	2	0,83	1973	29,7	-	-	-
1945	29,8	1,88	1	0,87	1974	30,9	-	-	-
1946	41,0	6,21	3	0,90	1975	38,1	-	-	-
1947	51,2	7,78	1	0,79	1976	38,2	-	-	-
1948	40,6	6,79	4	0,80	1977	51,8	11,1	2	0,76
1949	31,2	5,46	5	0,86	1978	45,4	7,20	2	0,79
1950	40,1	7,10	2	0,79	1979	32,9	6,70	2	0,74
1952	35,5	8,49	5	0,82	1980	29,1	5,57	4	0,86
1953	56,2	8,77	4	0,78	1981	38,9	6,38	2	0,80
1954	21,0	4,43	1	0,78	1982	48,9	9,04	4	0,79
1956	34,9	8,07	2	0,82	1983	40,0	4,68	3	0,86
1957	51,0	8,66	3	0,83	1984	51,0	10,1	4	0,76
1958	41,3	7,60	2	0,83	1986	59,0	9,97	3	0,80
1959	60,6	8,62	2	0,80	1988	43,2	8,83	3	0,74
1960	36,9	6,42	5	0,82	1989	39,3	5,69	1	0,82
1961	37,1	6,19	3	0,76	1991	50,6	7,41	5	0,87
					1992	43,8	5,34	4	0,89

Б2 АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ МНОГОЭТАПНОГО ПРИВЕДЕНИЯ ГОДОВОГО СТОКА РЕК И ДРУГИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Методика многоэтапного приведения с возможностью одновременного использования на каждом этапе нескольких аналогов апробирована на годовом стоке рек СССР по данным наблюдений на более чем 5000 гидрологических постов. На основании полученных результатов расчета были построены карты нормы и коэффициентов вариации годового стока рек СССР и осуществлено районирование отношения коэффициентов асимметрии к коэффициентам вариации по территории [8]. Кроме того, произведены многочисленные расчеты по другим гидрологическим характеристикам и метеорологическим факторам стока, включая следующие гидрологические характеристики:

- максимальные расходы воды весенних половодий,
- объемы стока весенних половодий,
- максимальные расходы воды дождевых паводков,
- объемы стока дождевых паводков,
- минимальные расходы воды летней межени
- минимальные расходы воды зимней межени,
- минимальные расходы воды за год,
- сезонный сток летне-осенней межени,
- сезонный сток зимней межени,
- месячный сток воды,
- параметры гидрографов стока,
- максимальные уровни воды,
- и многие другие гидрологические характеристики режима рек,

и метеорологические факторы стока:

- сезонные осадки и температура воздуха,
- суточные максимумы осадков и температуры воздуха,
- осадки за теплый и холодный периоды года,
- годовые осадки,
- и другие элементы метеорологического режима рек.

Качество приведения гидрологических характеристик и метеорологических факторов стока во всех рассмотренных случаях оказалось вполне удовлетворительным. Поверочные расчеты были выполнены в различных природных зонах СССР/России.

Кроме этого, апробация проводилась применительно и к другим факторам формирования речного стока, включая, например, данные наблюдений за снежным покровом и многие другие факторы стока.

Литература

1. Свод правил СП 33-101-2004. Определение основных гидрологических характеристик. 2004
2. Материалы по режиму рек СССР. Водный кадастр Союза ССР. Л.: Гидрометеиздат.
3. Ресурсы поверхностных вод (РПВ) СССР. т.1 - т.20. Л., Гидрометеиздат.
4. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Л., Гидрометеиздат. т.1 вып.1-22.
5. СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». Минстрой России, Москва, 1997. – 44 с.
6. СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства». Госстрой России, Москва, 1997. – 29 с.
7. Рекомендации по приведению рядов речного стока и их параметров к многолетнему периоду. – Гидрометеиздат, 1979. – 64 с.
8. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.
9. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984, - 248 с.
10. Рождественский А.В., Ежов А.В., Сахарюк А.В. Оценка точности гидрологических расчетов. Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 276 с.
11. Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. - Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 269 с.
12. Пространственно-временные колебания стока рек СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1988, - 376 с.
13. Методические рекомендации по определению основных расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности. (В печати).
14. Рождественский А.В., Лобанова А.Г. Использование материалов кратковременных гидрометеорологических изысканий в расчетах стока. Метеорология и гидрология, №12, 1991, с. 84-92
15. Сотникова Л.Ф. Оценка точности расчетной гидрологической информации. В кн. Регулирование и комплексное использование водных ресурсов. М.: Наука, 1987, гл.3, с.50-79.
16. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 78с.

17. Лобанова А.Г. Расчет параметров распределения при наличии нескольких выдающихся значений гидрологической характеристики. Труды ГГИ, вып.294, Л.: 1983. С.23-29