РОСГИДРОМЕТ

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ»)

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

СТО ГГИ
52.08.41–2017

ОСНОВНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ, ОБУСЛОВЛЕННОЙ ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Рекомендации по расчету

Санкт-Петербург
ФГБУ «ГГИ»
2017

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетным учреждением «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ») Росгидромета

2 РАЗРАБОТЧИКИ В. Ю. Георгиевский, д-р геогр. наук (руководитель темы), А. Г. Лобанова, канд. техн. наук; (руководитель разработки), Т.Г. Молчанова, вед. инженер, Е.А. Грек, вед. инженер, Е.В. Гуревич, канд. геогр. наук, Д.В.Георгиевский, науч. сотрудник

3 ОДОБРЕН решением методической комиссии ФГБУ «ГГИ» протокол от 22 декабря 2016 г. № 3

4 УТВЕРЖДЕН приказом ФГБУ «ГГИ» от 24.08.2017. № 25

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения 2
4 Общие положения 5
5 Расчет основных гидрологических характеристик 5
5.1 Оценка однородности гидрологических рядов 6
5.1.1 Генетический анализ 6
5.1.2 Статистический анализ однородности 6
5.1.3 Критерии однородности экстремальных значений гидрологических характеристик 8
5.2 Расчет гидрологических характеристик по неоднородным данным 10
5.2.1 Расчет кривой распределения по составным однородным совокупностям 10
5.2.2 Определение расчетной кривой распределения по «сумме распределений» на основе байесовских подходов 10
5.2.3 Расчет суммарной кривой обеспеченности с учетом средних квадратических погрешностей расчетных значений стока заданных обеспеченностей 12
5.3 Расчет параметров и кривых обеспеченности стока с учетом экстремальных значений 12
Приложение А (рекомендуемое) Примеры расчетов основных характеристик по неоднородным рядам речного стока 14
А.1 Расчет годового и сезонного стока 14
А.2 Расчет максимальных расходов воды 21
А.3 Расчет слоя стока весеннего половодья 24
А.4 Расчет минимальных 30-ти суточных зимних расходов воды 27
А.5 Расчет минимальных 30-ти суточных летних расходов воды 30
А.6 Расчет максимального стока по составной кривой и по «сумме распределений» на основе байесовских подходов 33
Приложение Б (рекомендуемое) Пример расчета максимальных расходов воды с учетом экстремального значения расхода 37
Библиография 40

Введение

В последние десятилетия 20-го века и по настоящее время на значительной части территории Российской Федерации наблюдается устойчивая тенденция потепления климата, вследствие чего существенно изменились условия формирования речного стока, что привело к значимой трансформации его внутригодового распределения и к разнонаправленным изменениям его составляющих. Характерным является увеличение меженного стока, особенно в зимний период года.

На многих реках европейской территории страны зимний сток увеличился в пределах от 50 до 120 %, в то же время на реках бассейнов Балтийского моря, Волги (за исключением северной и северо-восточной ее частей), Дона, Днепра и Оби (в верхней ее части) сток весеннего половодья снизился на 10-30 %.

Вместе с тем, в бассейнах рек, где максимальный сток формируются в период прохождения дождевых паводков (реки Черноморского побережья Кавказа, бассейна Кубани, Амура, Дальневосточного Приморья), в условиях потепления климата на рубеже 21-го века, прошли катастрофические паводки с экстремальными расходами, значительно превышающими наблюденные ранее [1] - [5].

Изменения водного режима рек, обусловленные климатическими факторами, привели к нестационарности многолетних рядов характеристик стока. Анализ данных наблюдений за речным стоком показывает наличие резких изменений отдельных характеристик стока в период с 1970 по 1980 гг., что послужило основной причиной нарушения его однородности. Режим речного стока, сформировавшийся за последние 35-45 лет, на современном уровне изученности проблемы межгодовой изменчивости водности рек, можно рассматривать как квазистационарный и соответствующий новым климатическим условиям. Следует отметить, что многолетний период, предшествующий резкому изменению водного режима рек, также является квазистационарным.

В связи с этим возникает задача определения расчетных параметров различных характеристик речного стока по неоднородным рядам наблюдений, характеризующимся наличием двух квазистационарных периодов с различными климатическими условиями. Формальное использование аналитических кривых распределения, без учета указанного факта, может привести как к завышению, так и к занижению расчетных характеристик речного стока.

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

ОСНОВНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ, ОБУСЛОВЛЕННОЙ ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Рекомендации по расчету

Дата введения – 2017–12–01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт организации устанавливает порядок выполнения расчетов основных характеристик стока рек (годовой и сезонный сток, максимальные расходы воды, слои стока весеннего половодья, минимальные расходы за периоды летне-осенний и зимней межени) при нарушении однородности многолетних рядов в условиях происходящих климатических изменений.

1.2 Настоящий стандарт предназначен для практической деятельности в ФГБУ «ГГИ» и в других организациях и учреждениях Росгидромета при определении расчетных статистических характеристик стока рек с целью оценки количественных показателей состояния водных ресурсов в условиях изменяющегося климата.

Стандарт может быть рекомендован к использованию специалистами изыскательских, научно-исследовательских, проектных организаций и учреждений водохозяйственного комплекса при инженерно-гидрологических изысканиях и проведении гидрологического обоснования проектных работ. Применение стандарта другими организациями и учреждениями возможно только по согласованию с ФГБУ «ГГИ» на основе внутренних распоряжений и приказов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 19179–73 Гидрология суши. Термины и определения

СП 33-101–2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик

Примечания

1 При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверять действие ссылочных нормативных документов:

- национальных стандартов - в информационной системе общего пользования - на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года;

- нормативных документов Росгидромета и типовых нормативных документов - по РД 52.18.5–2012.

2 Если ссылочный нормативный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) нормативным документом. Если ссылочный нормативный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 19179, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **Априорное (предполагаемое) распределение:** первоначальная версия распределения вероятностей изучаемой совокупности, полученная путем оценки расчетных параметров до последующего изменения этой совокупности во времени (до получения новой информации).

3.2 **Апостериорное распределение:** Распределение вероятностей изучаемой совокупности, полученное путем оценки расчетных параметров распределения после учета новой информации на основе априорного распределения.

3.3 **Внутригодовое распределение стока:** Распределение величины стока по календарным периодам или сезонам года (раздел 63 ГОСТ 19179).

3.4 **Гидрологические расчеты:** Раздел инженерной гидрологии, в задачи которого входит разработка методов, позволяющих рассчитать значения различных характеристик гидрологического режима.

3.5 **Гидрологические характеристики:** Количественные оценки элементов гидрологического режима (годовой и сезонный сток, максимальные расходы воды, слои стока весеннего половодья, минимальные расходы за периоды летне-осенний и зимней межени).

3.6 **Дисперсия:** Мера разброса значений случайной величины относительно ее среднего значения.

3.7 **Доверительный интервал:** Область допустимых значений, вероятность попадания в которую при принятии гипотезы однородности, равна уровню значимости.

3.8 **Дождевой сток:** Сток, возникающий в результате дождей (раздел 58 ГОСТ 19179).

3.9 **Квазистационарность:** Стационарность гидрологических рядов, имеющих ограниченный период наблюдений во времени.

3.10 **Коэффициент асимметрии:** Безразмерный статистический параметр, характеризующий степень несимметричности рассматриваемой случайной величины относительно его среднего значения.

3.11 **Коэффициент вариации:** Безразмерный статистический параметр, характеризующий изменчивость случайной величины и представляет собой отношение среднего квадратического отклонения ряда к его среднему значению.

3.12 **Коэффициент корреляции:** Мера линейной взаимосвязи двух случайных величин.

3.13 **Кривая обеспеченности (вероятность превышения):** интегральная кривая, показывающая обеспеченность превышения (в % или в долях единиц) случайной величины среди общей совокупности ряда.

3.14 **Кривая распределения вероятностей**: Графическое или аналитическое выражение функции, характеризующей вероятность появления того или иного значения рассматриваемого ряда случайной величины.

3.15 **Критерии однородности:** Статистические критерии, подтверждающие принадлежность выборки или ее параметров к одной генеральной совокупности.

3.16 **Максимальный сток:** Речной сток, наблюдавшийся в половодье или паводки (раздел 75 ГОСТ 19179).

3.17 **Межень:** Ежегодно повторяющаяся фаза водного режима реки, характеризующаяся малой водностью, длительным стоянием низкого уровня, и возникающая вследствие уменьшения питания реки (раздел 78 ГОСТ 19179).

3.18 **Меженный сток:** Речной сток, наблюдавшийся в меженный период.

3.19 **Минимальный сток:** Наименьший по величине речной сток, обычно наблюдающийся в межень (раздел 79 ГОСТ 19179).

3.20 **Многолетние циклические колебания:** Изменения величин стока, характеризующиеся чередованием маловодных и многоводных группировок лет

различной продолжительности и различным отклонением от их средних многолетних значений (раздел 68 ГОСТ 19179).

3.21 **Нестационарный процесс:** Процесс, распределение вероятности которого зависит от времени.

3.22 **Обеспеченность гидрологической величины:** Вероятность того, что рассматриваемое значение гидрологической величины может быть превышено среди совокупности всех возможных значений (раздел 68 ГОСТ 19179).

3.23 **Паводок:** Фаза водного режима, которая может многократно повторяться в различные сезоны года, характеризуется интенсивным обычно кратковременным увеличением расходов и уровней воды и вызывается дождями или снеготаянием во время оттепелей (раздел 73 ГОСТ 19179).

3.24 **Половодье:** Фаза водного режима, ежегодно повторяющаяся в данных климатических условиях в один и тот же сезон, характеризующаяся наибольшей водностью, высоким и длительным подъемом уровня воды, и вызываемая снеготаянием или совместным таянием снега и ледников (раздел 72 ГОСТ 19179).

3.25 **Разностная интегральная кривая стока:** Кривая, представляющая собой нарастающую сумму отклонений модульных коэффициентов от среднего многолетнего значения временного ряда на конец каждого года.

3.26 **Расчетная гидрологическая характеристика:** Статистическая оценка гидрологических характеристик.

3.27 **Расчетная обеспеченность:** Обеспеченность гидрологической характеристики, принимаемая при строительном проектировании для установления значения параметров гидрологического режима, определяющих проектные решения.

3.28 **Речной сток:** Сток, происходящий по речной сети (раздел 56 ГОСТ 19179).

3.29 **Статистическая однородность рядов:** Принадлежность элементов гидрологических характеристик и их параметров отдельных частей временного ряда к одной совокупности.

3.30 **Стационарность:** Статистическая однородность выборочных параметров и функций распределения во времени.

3.31 **Суммарная интегральная кривая стока:** Последовательность нарастания значений стока за рассматриваемый период времени.

3.32 **Тренд:** Однонаправленное, монотонное изменение средней многолетней величины.

3.33 **Уровень значимости:** Достаточно малое значение вероятности (назначаемое условно), характеризующее практически невозможное событие.

4 Общие положения

4.1 Режим речного стока, сформировавшийся за последние 35-45 лет, на современном уровне изученности проблемы межгодовой изменчивости водности рек, можно рассматривать как квазистационарный и соответствующий новым климатическим условиям.

4.2 Настоящий стандарт устанавливает порядок определения основных гидрологических характеристик стока рек по неоднородным временным рядам наблюдений, которые характеризуются наличием двух квазистационарных периодов, связанных с различными климатическими условиями.

Стандарт разработан в развитие СП 33-101, а также Методических указаний [6] и Методических рекомендаций [7].

5 Расчет основных гидрологических характеристик

Расчет основных гидрологических характеристик при наличии однородных данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности согласно СП 33-101 осуществляется путем применения аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения – кривых обеспеченностей.

Неоднородность многолетних рядов характеристик речного стока может быть вызвана результатом воздействия:

- хозяйственной деятельности на водосборах и в руслах рек;
- изменяющихся климатических условий.

На начальном этапе, до определения расчетных значений гидрологических характеристик, данные гидрологических наблюдений должны быть подвергнуты проверке и тщательному анализу их полноты и качества.

Анализу также подлежат данные, характеризующие динамику факторов хозяйственной деятельности на водосборах и в руслах рек, влияющих на условия формирования речного стока и его количественные параметры. Ряды речного стока, подверженные влиянию этих факторов, приводятся к естественным, с ненарушенным влиянием хозяйственной деятельности условиям, воднобалансовыми и регрессионными методами в соответствии с Методическими указаниями [6].

В случае установления влияния факторов хозяйственной деятельности на различные характеристики речного стока и после приведения гидрологических рядов к

естественному режиму, производится оценка однородности рядов стока с целью выявления влияния климатической составляющей на характеристики стока.

5.1 Оценка однородности гидрологических рядов

Оценка однородности рядов речного стока осуществляется на основе генетического и статистического анализов.

Статистические методы оценки однородности гидрологических данных наблюдений количественными показателями дополняют качественный анализ исходных данных.

5.1.1 Генетический анализ

5.1.1.1 Генетический анализ заключается в изучении структуры многолетних колебаний стока и выявлении физических причин, обусловливающих неоднородность исходных данных гидрологических наблюдений.

Основные приемы, позволяющие выявить возможную неоднородность характеристик стока до применения статистических методов:

- построение хронологических графиков основных характеристик стока;
- построение разностных и суммарных интегральных кривых;
- построение комплексных графиков гидрометеорологических элементов.

5.1.1.2 Указанные приемы позволяют проанализировать структуру многолетних колебаний речного стока и определить изменение средних значений и изменчивости ряда во времени для дальнейшего анализа с применением статистических методов.

5.1.2 Статистический анализ однородности

5.1.2.1 Под статистической однородностью понимается принадлежность элементов гидрологических характеристик и их параметров (среднего значения, дисперсии, коэффициентов вариации, асимметрии и автокорреляции отдельных частей ряда) к одной совокупности. Однородность выборочных статистических параметров во времени называется стационарностью.

В настоящем стандарте использованы статистические критерии однородности, адаптированные к специфике гидрологических рядов наблюдений (учет автокорреляции, асимметрии и длительности рядов наблюдений).

Оценка однородности гидрологических рядов наблюдений по статистическим критериям Стьюдента (для средних значений) и Фишера (для дисперсий) состоит в

сравнении расчетного значения статистики критерия для однородных последовательных частей ряда, полученной по эмпирических данным, с ее критическим обобщенным значением, при заданном уровне значимости, объеме выборки, коэффициентах автокорреляции и асимметрии.

Как правило, уровень значимости задается равным 5%, что соответствует принятию нулевой гипотезы об однородности временного ряда с вероятностью 95%.

5.1.2.2 Критерии однородности средних значений

Расчетное значение статистики критерия Стьюдента t определяется по формуле:

$$t = \frac{Y_{cp1} - Y_{cp2}}{\sqrt{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 2)}{n_1 + n_2}} \; ; \qquad (5.1)$$

где $Y_{cp1}; Y_{cp2}; \sigma_1^2; \sigma_2^2$ средние значения и дисперсии двух последовательных выборок, соответственно;

n_1 и n_2 - объемы выборок.

Оценка однородности (стационарности) по критерию Стьюдента осуществляется путем сравнения расчетных значения t и критических значений статистики t*.

Если расчетное значение t, полученное по формуле (5.1) больше критического значения t* при заданном уровне значимости, то гипотеза об однородности (в данном случае для 2-х частей неоднородного ряда) отклоняется и ряд рассматриваемой гидрологической характеристики признается неоднородным.

Критические значение критерия t* определяется в соответствии с приложением Б Методических рекомендаций [7].

5.1.2.3 Критерии однородности дисперсий гидрологических характеристик

Расчетные значения статистики Фишера F для оценки однородности дисперсий для двух последовательных частей ряда определяются по формуле:

$$F = \frac{\sigma_j^2}{\sigma_{j+1}^2} \qquad \text{при} \quad \sigma_j{}^2 > \sigma_{j+1}{}^2, \qquad (5.2)$$

где σ_j^2, $\sigma_{j+1}{}^2$ - дисперсии 2-х следующих друг за другом частей выборок (j , j+1) объемом n_1 и n_2 , соответственно.

Гипотеза о однородности (стационарности) дисперсий принимается при заданном уровне значимости α ,%, если расчетное значение статистики критерия F меньше критического F* при заданных степенях свободы, соответствующих объемам выборок n_1 и n_2.

Критические значения статистик Стьюдента t* и Фишера F* в зависимости от уровня значимости α ,%, коэффициента внутрирядной корреляции, r(1) и коэффициентах асимметрии определяются в соответствии с приложением Б Методических рекомендаций [7].

Таким образом, применение статистических критериев оценки однородности или стационарности временных гидрологических рядов позволяют подтвердить или опровергнуть выдвигаемую гипотезу однородности.

5.1.3 Критерии однородности экстремальных значений гидрологических характеристик

5.1.3.1 Для оценки однородности резко отклоняющихся экстремальных значений речного стока в эмпирическом распределении следует применять критерии Смирнова-Граббса и Диксона согласно Методическим рекомендациям [7].

Причинами неоднородности резко отклоняющихся точек в эмпирическом ряду наблюдений могут быть следующие:

- экстремальное значение стока имеет повторяемость более редкую, чем она определена по эмпирической формуле анализируемого ряда;
- резко отклоняющиеся значения стока сформированы особыми гидрометеорологическими условиями.

Объективная проверка ряда наблюдений, содержащего один или несколько членов ряда, резко выделяющихся из общей совокупности, осуществляется с применением статистических критериев на основе анализа соответствия эмпирических и аналитических кривых распределения.

5.1.3.2 Статистика критерия Смирнова-Граббса G для максимального члена ранжированной последовательности Y_n рассчитывается по формуле:

$$G_n = \frac{(Y_n - \overline{Y})}{\overline{\sigma}} \quad ; \qquad (5.3)$$

для минимального члена ранжированной последовательности Y_1:

$$G_1 = \frac{(\overline{Y} - Y_1)}{\overline{\sigma}} \quad ; \qquad (5.4)$$

где $\overline{Y}$, $\overline{\sigma}$ - среднее значение и среднее квадратическое отклонение анализируемой выборки, соответственно.

5.1.3.3 Статистики критериев Диксона D для объема выборки n, ранжированной в возрастающем порядке, рассчитываются на основании эмпирических данных по следующим формулам:

- для максимального члена выборки Y_n:

$$D_{1n} = \frac{(Y_n - Y_{n-1})}{(Y_n - Y_1)}; \quad (5.5)$$

$$D_{2n} = \frac{(Y_n - Y_{n-2})}{(Y_n - Y_2)}; \quad (5.6)$$

$$D_{3n} = \frac{(Y_n - Y_{n-2})}{(Y_n - Y_2)}; \quad (5.7)$$

$$D_{4n} = \frac{(Y_n - Y_{n-2})}{(Y_n - Y_3)}; \quad (5.8)$$

$$D_{5n} = \frac{(Y_n - Y_{n-2})}{(Y_n - Y_1)}; \quad (5.9)$$

- для минимального члена выборки Y_1:

$$D_{1_1} = \frac{(Y_1 - Y_2)}{(Y_1 - Y_n)}; \quad (5.10)$$

$$D_{2_1} = \frac{(Y_1 - Y_2)}{(Y_1 - Y_{n-1})}; \quad (5.11)$$

$$D_{3_1} = \frac{(Y_1 - Y_3)}{(Y_1 - Y_{n-1})}; \quad (5.12)$$

$$D_{4_1} = \frac{(Y_1 - Y_3)}{(Y_1 - Y_{n-2})}; \quad (5.13)$$

$$D_{5_1} = \frac{(Y_1 - Y_3)}{(Y_1 - Y_n)}; \quad (5.14)$$

где

$$Y_1 < Y_2 < \ldots < Y_n .$$

Примеры оценки однородности с применением генетического и статистического анализа приведены в приложениях А и Б.

5.2 Расчет гидрологических характеристик по неоднородным данным

5.2.1 Расчет кривой распределения по составным однородным совокупностям

Метод определения расчетных значений стока по составным кривым распределения применим для неоднородного общего ряда наблюдений, включающего две однородные выборки различной длины.

При неоднородности исходных данных гидрологических наблюдений эмпирические и аналитические кривые распределения определяют отдельно для каждой однородной части ряда.

Во всем интервале изменения исходных данных наблюдений для каждой однородной части ряда с аналитических кривых снимаются соответствующие им обеспеченности P_1, P_2. Далее определяется суммарная (составная) кривая распределения, для которой общая обеспеченность каждого члена этого ряда рассчитывается с учетом весовых коэффициентов по формуле:

$$P = \frac{(n_1P_1 + n_2P_2)}{(n_1 + n_2)}\% \ ; \qquad (5.15)$$

где n_1, n_2 - число членов в каждой из двух однородных совокупностей.

Весовые коэффициенты каждой однородной совокупности (однородной во времени части ряда) равны:

- для первой части ряда: $n_1 / (n_1 + n_2)$;

- для второй части ряда: $n_2 / (n_1 + n_2)$, соответственно.

Примеры расчета составных кривых распределения для различных характеристик речного стока даны в приложениях А.1 - А.6.

5.2.2 Определение расчетной кривой распределения по «сумме распределений» на основе байесовских подходов

Для расчетов речного стока в качестве математического вероятностного аппарата допускается использовать байесовскую методологию решения статистических задач для двух условно-стационарных периодов.

В отличие от метода «составных кривых обеспеченности», где в окончательном решении учитываются только весовые коэффициенты отдельных однородных совокупностей, при баейсовском решении, кроме длины однородных отрезков, учитываются также погрешности выборочных оценок среднего значения.

Основной принцип байесовского подхода заключается в переходе от априорных (предполагаемых) предпосылок к апостериорным (окончательным) с учетом новых данных, поступающих в результате наблюдений согласно [8] и [9].

Исходная информация представлена в виде некоторого априорного (предполагаемого) распределения вероятностей анализируемого параметра по первой однородной части общего ряда наблюдений, который принимает определенное значение до поступления дополнительной информации (по второй однородной части ряда).

По мере дополнения исходной информации от априорного распределения переходим к окончательному (апостериорному) распределению по формуле апостериорной плотности распределения параметра с использованием теоремы Байеса:

$$p(\theta/\{x\}) \sim p(\theta)p(\{x\})/\theta \quad , \tag{5.16}$$

где θ - искомый параметр распределения;

{x} - наблюденная выборка;

p(θ), p(θ/{x}) - априорная и апостериорная плотность параметра распределения, соответственно.

В методике байесовского оценивания параметр θ определяется отношением $\overline{Q}_1/\overline{Q}_2$, где $\overline{Q}_1$ и $\overline{Q}_2$- средние значения гидрологической характеристики первой и второй частей ряда.

В случае расчета параметров распределения стока в результате климатических изменений рассматриваются два состояния гидрологического процесса (условно-стационарных периода), с весовыми коэффициентами n_1/N и n_2/N, где $N = n_1 + n_2$.

$$p(\theta/x) = \frac{n_1}{N} \cdot \eta_1(\theta, x) + \frac{n_2}{N} \eta_2(\theta, x), \tag{5.17}$$

где $\eta_i(\theta, x)$ - выборочное распределение среднего значения для *i*-го условно-стационарного периода с весом n_i,

$p(\theta/x)$ - окончательное распределение оценки параметра θ с учетом новых климатических условий.

Построение суммарной кривой распределения с учетом всего ряда наблюдений осуществляется в соответствии с рекомендациями [9].

Пример применения методики байесовского оценивания приведен в приложении А.6.

5.2.3 Расчет суммарной кривой обеспеченности с учетом средних квадратических погрешностей расчетных значений стока заданных обеспеченностей

Для неоднородных рядов наблюдений, подверженных влиянию климатических изменений, расчетное значение заданной обеспеченности $Q_{общ}$ допускается определять по формуле:

$$Q_{общ} = \frac{\sum_{i=1}^{k} \frac{1}{\sigma_i^2} Q_i}{\sum_{I=1}^{K} \frac{1}{\sigma_i^2}}, \quad (5.18)$$

где Q_i – значение расчетной гидрологической характеристики, полученное по каждой однородной части ряда;

k - число однородных частей ряда;

σ_i^2- дисперсия расчетных значений для каждой однородной части ряда определяется согласно приложению 1 [10].

Для каждой однородной совокупности ряда рассчитываются кривые обеспеченности и средние квадратические погрешности значений стока во всем диапазоне заданных обеспеченностей. Окончательное расчетное значение заданной обеспеченности Q_p определяется по формуле:

$$Q_P = \frac{\sum_{i=1}^{2} (\frac{1}{\sigma_{p1}^2} Q_{p_1} + \frac{1}{\sigma_{P2}^2} Q_{P2})}{\sum_{i=1}^{2} (\frac{1}{\sigma_{p1}^2} + \frac{1}{\sigma_{p2}^2})}, \quad (5.19)$$

где Q_{p1}, Q_{p2} – расчетное значение стока заданной обеспеченности для первой и второй однородных частей ряда, соответственно;

σ_{p1}^2, σ_{p2}^2- дисперсии расчетных значений стока для каждой однородной части ряда, соответственно.

5.3 Расчет параметров и кривых обеспеченности стока с учетом экстремальных значений

Происходящие в последние десятилетия климатические изменения влияют на увеличение числа экстремальных гидрологических характеристик. В частности, на эмпирических кривых распределения наблюдаются отдельные значительные отклонения максимальных расходов воды, сформированных особыми погодными условиями, значения которых превышают наблюденные максимальные расходы.

Выдающиеся (экстремальные) значения речного стока необходимо учитывать при расчетах параметров и построении аналитических кривых распределения гидрологических характеристик в соответствии с СП 33-101, [11], [12].

В этом случае параметры кривых распределения: среднее арифметическое значение $\overline{Q}$ и коэффициент вариации C_v рассчитываются с учетом выдающегося значения расхода воды Q_N методом моментов.

При учете одного выдающегося значения гидрологической характеристики, входящего в n-летний период наблюдений, $\overline{Q}$ и C_v определяются по формулам:

$$\overline{Q} = \frac{1}{N}\left(Q_N + \frac{N-1}{n-1}\sum_{i=1}^{n-1} Q_i\right), \tag{5.20}$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N}\left[\left(\frac{Q_N}{\overline{Q}} - 1\right)^2 + \frac{N-1}{n-2}\sum_{i=1}^{n-1}\left(\frac{Q_i}{\overline{Q}} - 1\right)^2\right]}, \tag{5.21}$$

При учете одного выдающегося значения гидрологической характеристики, не входящего в n- летний период наблюдений, $\overline{Q}$ и C_v определяются по формулам:

$$\overline{Q} = \frac{1}{N}\left(Q_N + \frac{N-1}{n}\sum_{i=1}^{n} Q_i\right), \tag{5.22}$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N}\left[\left(\frac{Q_N}{\overline{Q}} - 1\right)^2 + \frac{N-1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Q_i}{\overline{Q}} - 1\right)^2\right]}, \tag{5.23}$$

где Q_N - выдающееся значение расхода воды;

n - число лет непрерывных наблюдений;

N - число лет, в течение которых выдающееся значение гидрологической характеристики не было превышено.

Использование формул (5.20) - (5.23) допускается лишь в том случае, когда исторические сведения о выдающемся гидрологическом значении Q_N и числе лет его непревышения N достаточно обоснованы. Произвольное задание этих величин недопустимо.

Пример расчета параметров распределения с учетом экстремального значения максимального стока приведен в приложении Б.

Приложение А
(рекомендуемое)

Примеры расчета основных характеристик стока по неоднородным рядам речного стока

А.1 Расчет годового и сезонного стока

В качестве примера приводится расчет годового и сезонного стока для г/ст. р.Ока - г.Калуга (площадь водосбора 54900 км^2). Для реализации данного примера использовалась данные о средних месячных расходах воды за многолетний период с 1882 по 2014 год включительно.

Годовой сток рассчитывался по средним месячным расходам стока за весь год, с I по XII месяцы, а расчет сезонного стока (зимнего, весеннего и летне-осеннего стока) осуществлялся за периоды:

- XI и XII месяцы предшествующего года и за I и II месяцы текущего года - зимний сток;
- с III по V месяцы - весенний сток;
- с VI по X месяцы - летне-осенний сток.

Результаты расчета приведены в таблице А.1.1.

Таблица А.1.1 – Значения средних месячных, годовых и сезонных расходов воды, м^3/с, по г/ст. р.Ока - г.Калуга за период с 1882 по 2014 год

Год	Месяц												Год	Зима	Весна	Лето-осень
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I- XII	XI- II	III- V	VI- X
1882	110	99,6	1650	371	148	165	364	210	106	99,6	155	107	299		228	195
1883	87,5	91,4	105	3080	603	183	166	106	89,5	104	116	161	408	109	1289	116
1884	109	95,2	84,6	717	1400	268	129	133	115	122	117	97,8	282	113	795	125
1885	92,2	103	375	1280	247	111	82,8	87,7	122	117	164	107	241	157	546	102
1886	112	102	106	1880	264	257	159	189	102	107	122	180	298	118	800	139
1887	105	86,1	132	1270	164	96,1	100	100	91,8	186	105	335	231	125	510	119
1888	124	96,5	94,1	3150	398	126	211	108	86,7	99,5	96,4	117	392	151	1225	126
1889	72,5	90	103	2740	278	91,1	91,2	99,6	132	159	173	118	346	95,8	1036	120
1890	74,7	81,6	959	370	101	143	137	74,5	73,8	81,3	89,5	64,5	187	281	205	91,7
1891	63,6	69,6	536	817	142	85,7	68,7	62,3	62	63,7	65,3	341	198	165	348	64,2
1892	129	144	309	2620	162	93,9	95,7	95,1	74,2	84,4	99,7	76,1	332	198	959	87,4
1893	75,9	84,5	356	1700	808	145	199	105	126	120	251	235	350	138	884	138
1894	68,6	76,3	84,4	1430	134	234	114	115	119	164	216	121	240	143	599	128
1895	94,9	89,4	94,9	2730	1210	120	227	97	96,6	101	252	105	435	123	1353	130
1896	75,7	91,2	106	1900	1210	132	210	287	130	113	130	81,4	372	126	1081	185
1897	89,3	105	188	2520	162	90,7	85,2	64,2	60,3	60,6	57,9	62,5	295	119	924	67,6
1898	67,9	80,2	84,7	1420	263	84,2	138	65,6	58,1	76,6	90,4	88,8	210	70,6	589	84,6
1899	129	84,6	210	1800	115	103	91,2	83,8	197	214	201	141	281	121	673	147
1900	74,6	75,9	82,2	2080	300	162	96,6	63,4	65,8	80,7	86,3	202	281	115	847	77
1901	75,4	69,1	200	2760	272	110	98,2	72,1	78,6	84,5	82,1	97,4	333	127	1047	83,4
1902	107	88,3	600	2140	324	188	338	178	168	211	147	96,8	382	195	884	224
1903	103	134	1140	632	192	173	186	86	72,1	103	124	169	260	324	332	112
1904	76,8	94,7	121	1630	217	139	89,9	59,1	53,9	62,1	121	156	235	117	662	66,3
1905	94,2	62,2	69,2	2180	176	87,8	58,2	60,2	162	418	331	212	326	101	815	175

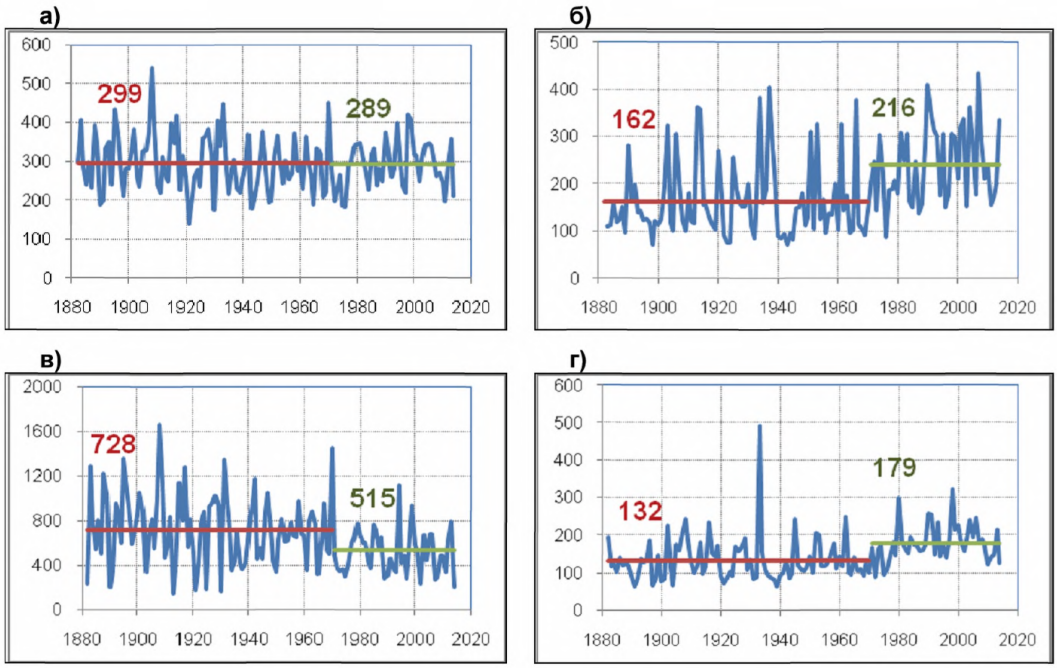
Продолжение таблицы А.1.1

Год	Месяц												Год	Зима	Весна	Лето-осень
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I- XII	XI- II	III- V	VI- X
1906	92,2	86,8	808	1370	170	138	206	167	128	139	297	351	329	306	559	160
1907	143	106	111	2560	368	141	357	202	146	115	128	157	378	202	1023	205
1908	99,2	108	122	3540	934	503	524	139	138	167	120	93,4	541	123	1659	242
1909	89,4	91,5	111	1750	800	824	388	138	109	107	136	129	389	101	1125	186
1910	117	110	404	1090	206	111	116	173	121	100	184	155	241	179	469	128
1911	90,4	84,9	95,8	1480	184	134	134	87,4	87,3	87,1	90,1	72	219	122	599	99,0
1912	68,4	85,4	268	1820	509	170	133	88,7	113	149	178	145	311	117	833	121
1913	70,1	61,2	1360	232	99,7	97,2	282	194	125	121	250	239	261	363	143	181
1914	132	389	773	775	176	115	103	99,8	93,6	97,4	105	105	247	357	355	98,5
1915	90	212	257	2980	304	138	108	124	133	99,9	210	120	398	154	1141	116
1916	83,7	97,9	267	2070	212	119	170	144	154	463	208	179	347	156	800	233
1917	102	87,5	78,4	3370	329	138	138	203	144	124	168	138	418	131	1279	152
1918	83	90,8	92,8	1360	154	169	138	129	180	120	102	89,3	226	115	561	142
1919	93,2	91,9	144	2080	233	130	165	272	124	120	147	153	313	104	814	170
1920	169	105	775	1280	154	104	94,9	98,7	88,1	86,5	80,4	64,3	258	270	513	92,1
1921	75	63,4	593	310	108	98,2	86,6	65,6	65,3	66,4	59,4	59,7	138	175	172	71,0
1922	51,9	51,5	233	926	167	199	122	72,7	65,6	81,2	188	50,8	184	91,1	431	85,4
1923	43,8	40	59,3	2000	234	126	125	108	96,3	81,8	111	95,2	260	76,4	787	103
1924	68,8	48,8	52,1	2170	365	103	105	97,3	86,2	79,3	92,6	82	279	75,2	879	92,0
1925	119	127	860	321	107	119	183	149	169	176	290	190	234	256	182	169
1926	245	113	107	2280	357	146	140	156	150	177	308	139	360	189	928	156
1927	98,9	91,6	159	2030	522	331	206	151	110	204	319	124	362	159	961	168
1928	120	105	98,7	1550	1140	382	173	192	212	185	210	219	382	153	1024	191
1929	134	87,3	114	1120	1540	153	180	98,3	76,9	83,3	102	95,8	315	153	938	110
1930	73,7	71,5	653	313	113	81,7	118	128	119	167	151	118	176	199	169	133
1931	87,2	78,5	129	3100	824	122	98,7	62,4	81,8	89	102	71,7	404	113	1349	83,0
1932	98,1	75,3	75,5	2620	417	188	117	84,7	69,9	82,6	95,6	122	337	84,5	1075	88,6
1933	69,1	72,4	550	1010	507	656	444	407	791	324	433	123	449	182	724	492
1934	98,5	104	1150	745	176	155	189	201	109	121	138	109	275	382	359	155
1935	78,3	94,5	374	980	223	128	114	106	97,2	116	164	125	217	159	444	108
1936	156	130	372	1782	222	123	85	83,5	89,3	109	117	107	281	189	709	91,7
1937	80,4	74,4	1640	1020	154	100	94,7	98,9	73,8	80,1	90,1	137	304	404	425	86,9
1938	99,3	91,8	978	668	305	109	87,2	76,5	74,4	83	94,3	65,6	228	279	361	80,3
1939	127	274	537	940	219	99,9	69,3	60,8	57,1	62,6	74	89,6	218	220	420	62,5
1940	54,1	58,8	172	1940	146	86,1	99,3	89,9	82,4	93,2	111	94,2	252	89,7	724	91,2
1941	68	68,7	82,5	1940	539	181	115	93,3	98,6	92	132	86	291	84,9	887	100
1942	89	79,1	82,6	2600	530	386	181	175	85,2	89,9	75,2	53,8	369	93,7	1172	133
1943	51,7	54,3	125	1110	161	120	99,9	94,5	72,2	74,5	77,3	81,4	177	72,0	464	85,3
1944	86,7	86,9	144	1150	369	148	126	102	80,7	79,6	96,9	77,9	212	95,3	556	97,1
1945	72,4	70,2	97,9	976	254	139	116	272	218	357	247	117	245	83,1	456	241
1946	108	95,6	168	2250	296	123	101	98,9	125	154	126	93,4	312	147	890	120
1947	80,3	81,6	369	2710	252	194	106	97,6	119	116	173	215	376	150	1052	110
1948	204	172	139	1760	225	162	121	97,3	99,3	101	113	109	275	181	716	105
1949	86,9	88,3	159	1070	162	101	143	130	94,8	92,1	98,4	109	195	111	444	115
1950	87,9	81,9	261	779	126	112	127	192	130	127	178	143	195	128	339	144
1951	90,8	79,1	1060	1420	308	164	95,9	104	102	93,7	84,1	120	310	310	631	98,9
1952	115	101	104	1950	313	164	166	139	157	354	517	320	367	105	809	204
1953	163	128	501	1250	401	182	191	170	215	223	146	136	309	326	611	200
1954	98,3	96,9	155	1360	362	147	109	104	113	145	125	110	244	126	623	118
1955	112	149	340	1640	509	205	138	124	100	104	96,4	95,3	301	167	785	117
1956	97,5	85,6	107	1410	393	198	120	149	125	107	106	130	252	96,4	667	125
1957	108	164	179	1480	266	208	153	148	133	163	113	114	269	137	651	149
1958	127	136	180	2300	455	166	141	163	203	204	183	199	371	134	974	178
1959	167	130	315	1680	218	152	129	100	103	113	101	85,4	274	199	683	111
1960	118	93,8	115	1620	270	117	112	124	179	156	307	370	298	103	669	143

Окончание таблицы А.1.1

Год	Месяц												Год	Зима	Весна	Лето-осень
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I- XII	XI- II	III- V	VI- X
1961	216	150	584	721	217	133	121	105	139	103	104	156	229	325	357	117
1962	137	116	207	1690	315	390	320	274	211	183	274	225	362	144	798	247
1963	127	118	126	2170	330	142	109	94,6	97,9	101	107	92,6	301	174	881	101
1964	99,4	83,5	94,6	1820	301	166	105	98,6	88,6	87,2	79,3	113	261	95,4	762	94,9
1965	85	74,8	166	600	217	147	189	159	106	100	92,5	304	187	104	321	139
1966	135	160	1200	1500	204	132	121	104	97,2	98,8	130	116	333	378	612	105
1967	95,1	88,1	140	2470	245	148	112	112	107	102	98,5	94,7	318	114	954	108
1968	92,2	96,5	142	1320	156	107	94,3	93,7	84,4	93,2	88	109	206	105	528	91,4
1969	91	73,4	93	1190	186	144	109	170	108	103	175	192	220	90,9	507	123
1970	123	99,6	123	3950	281	122	105	87	93,7	117	180	120	450	143	1451	101
1971	177	171	371	1070	233	159	135	117	143	261	288	240	280	204	487	164
1972	127	86,6	489	806	161	121	121	70,7	72,9	94,5	107	96,8	196	246	363	89,8
1973	81,3	86,3	341	700	220	113	107	182	160	204	317	146	221	142	344	163
1974	133	302	616	447	326	324	303	149	113	119	163	169	264	303	366	171
1975	180	149	450	622	143	126	94,1	93,6	94,7	93,3	86,4	95	186	222	297	94
1976	85,8	81,5	92,7	767	267	202	111	112	99,4	107	118	143	182	88,3	412	107
1977	108	98,3	468	1410	208	204	162	142	134	133	209	189	289	187	607	143
1978	148	122	270	1290	348	274	210	171	156	185	216	162	296	188	637	181
1979	126	236	298	1930	278	117	151	146	145	142	207	245	335	208	775	146
1980	176	149	126	1250	509	285	385	317	298	199	214	230	345	181	681	300
1981	236	202	652	1280	351	170	137	129	204	249	272	265	346	307	600	180
1982	210	166	338	1180	452	188	179	158	150	163	190	267	303	250	607	163
1983	244	239	593	949	218	163	162	146	145	153	135	187	278	307	443	152
1984	181	134	167	779	172	178	256	177	160	184	172	145	225	161	376	194
1985	139	144	155	1840	299	168	184	151	164	194	202	189	319	151	769	173
1986	147	138	557	1710	269	171	185	153	168	177	175	152	334	247	717	171
1987	107	126	124	951	415	243	146	156	154	169	113	135	237	137	536	156
1988	136	122	275	1370	416	180	216	141	142	137	126	126	282	156	655	159
1989	156	243	738	431	191	204	229	155	134	166	157	186	249	278	275	171
1990	176	343	1180	414	226	271	172	170	373	311	517	317	373	408	304	257
1991	241	189	526	629	411	330	238	184	194	399	346	227	326	358	457	254
1992	256	228	518	701	243	161	144	130	145	169	225	197	260	315	368	147
1993	215	217	648	596	227	184	238	257	197	244	190	165	282	300	336	234
1994	178	144	197	2670	411	284	159	137	133	142	167	153	398	175	1122	143
1995	163	189	854	691	362	209	173	160	179	176	195	140	291	305	421	172
1996	135	136	146	1020	289	164	151	135	138	141	174	173	234	150	491	141
1997	120	121	293	418	201	209	210	149	136	271	289	192	217	176	276	192
1998	193	197	658	1160	599	253	241	215	352	480	476	209	419	306	671	322
1999	220	226	358	2210	387	223	187	249	195	219	216	202	408	298	940	213
2000	182	194	261	1280	259	210	245	227	240	188	257	263	317	211	583	225
2001	258	242	580	1010	273	300	188	163	176	180	195	197	314	320	528	177
2002	152	440	705	313	215	162	145	141	153	188	208	151	248	338	230	157
2003	138	134	130	1410	408	180	173	176	234	221	235	265	309	152	666	201
2004	231	240	840	659	417	279	362	217	183	192	235	244	342	362	452	239
2005	419	280	243	1260	442	339	251	180	169	177	187	200	346	284	680	194
2006	176	152	175	1400	313	330	174	229	326	246	311	271	342	178	681	244
2007	354	260	971	338	299	181	170	175	174	190	195	224	294	433	273	177
2008	161	203	676	391	286	203	231	164	179	173	193	272	261	292	293	187
2009	181	179	236	835	361	262	172	165	154	183	318	199	270	212	486	169
2010	159	144	386	1010	264	187	126	113	125	128	147	164	246	241	487	123
2011	166	154	148	612	269	128	154	138	131	139	142	173	196	156	336	141
2012	208	147	196	1390	292	208	146	126	142	175	302	213	295	173	630	147
2013	157	156	176	1680	448	265	206	155	278	219	271	283	358	201	798	215
2014	374	311	436	275	183	162	129	117	129	131	139	141	211	335	207	127

На рисунке А.1.1 приведены хронологические графики многолетних изменений годового и сезонного стока. Анализ этих данных показывает, что с начала 1970 годов наблюдается увеличение зимнего и летне-осеннего стока и уменьшение весеннего стока. Многолетних изменений в годовом стоке не набюдается.



а) год; б) зима; в) весна; г) лето-осень

Рисунок А.1.1 – Многолетние колебания годового и сезонного стока по г/ст. р.Ока-г.Калуга, $м^3/с$ за период с 1882 по 2014 год

Анализ суммарных и разностных интегральных кривых годового и сезонного стока (рисунок А.1.2) показал, что ряды сезонного стока можно разбить на две квазиоднородные совокупности с переломной точкой в 1970 году.

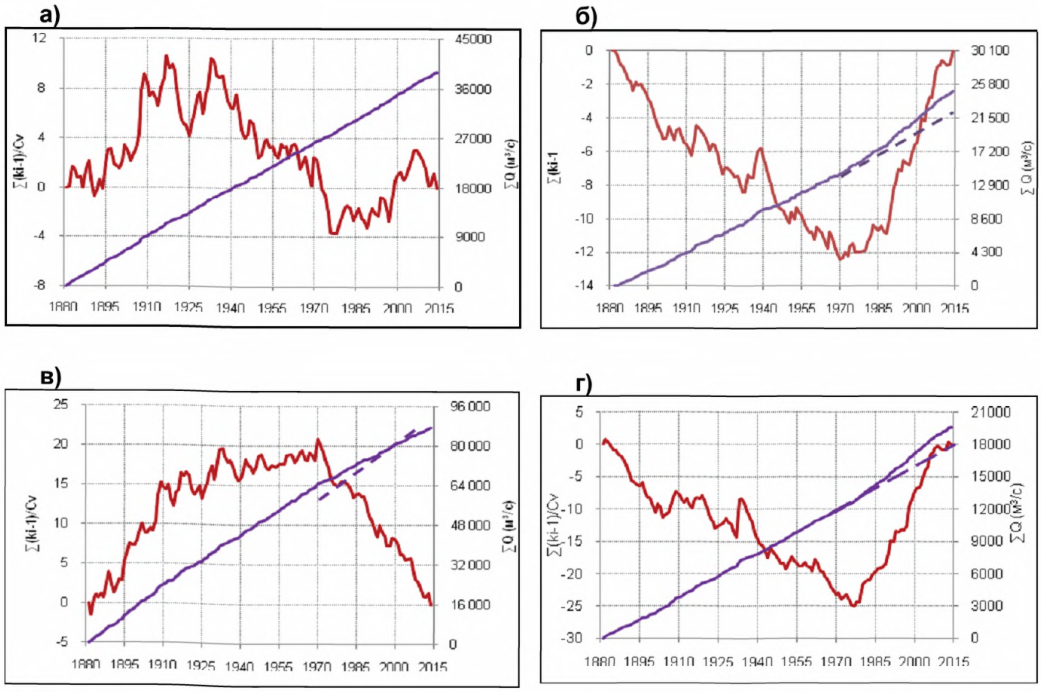
Ряды речного стока проверены на однородность с использованием рекомендаций подраздела 5.1 (формулы (5.1) - (5.2)). Результаты расчетов, приведенные в таблице А.1.2, показали неоднородность рядов сезонного стока по среднему значению, а весеннего стока - еще и по дисперсии. Ряд годового стока является однородным.

В связи с этим определение расчетных характеристик сезонного стока выполняется с использованием составных кривых распределения вероятностей.

Таблица А.1.2 – Оценка однородности годового и сезонного стока по критериям Стьюдента и Фишера по г/ст. р.Ока-г.Калуга

Сезон	Период наблюдений	Среднее значение	Дисперсия, σ	Критерии*	
				Стъюдента	Фишера
1	2	3	4	5	6
Год	1882-1970	299	78,2	0,84	1,56
	1971-2014	289	61,8	2,38	1,57
				однороден	однороден
Зима	1883-1970	162	79,3	3,66	1,29
	1971-2014	239	90,0	2,53	1,61
				неоднороден	однороден
Весна	1882-1970	728	339	3,20	2,09
	1971-2014	515	235	2,31	1,57
				неоднороден	неоднороден
Лето-осень	1882-1970	132	63,7	2,97	1,57
	1971-2014	179	50,8	2,46	1,58
				неоднороден	однороден

* В столбцах 5 и 6 в числителе приводится расчетное значение критерия, а в знаменателе - его критическое значение



а) год; б) зима; в) весна; г) лето-осень

— суммарная кривая; — разностная интегральная кривая

Рисунок А.1.2 – Суммарные и разностные интегральные кривые годового и сезонного стока по г/ст. р.Ока-г.Калуга:

После разделения временного ряда на две выборки с периодами 1882-1970 гг. и 1971-2014 гг. для каждой из них произведены расчеты и построены эмпирические кривые обеспеченностей, а также выполнен подбор аналитических кривых обеспеченностей, соотношений C_s/C_v и рассчитаны параметры составной кривой распределения.

Результаты расчетов для рядов средних месячных, годовых и сезонных расходов воды, м^3/с, по г/ст. р.Ока - г.Калуга представлены в таблицах А.1.3 - А.1.5 и показаны на рисунке А.1.3.

Таблица А.1.3 – Параметры распределения, расчетные значения весеннего стока заданной обеспеченности по однородным и составной кривым распределения

Период наблюдений	Средний расход, $\overline{Q}$, м^3 / с	C_v	C_s/C_v	Обеспеченные значения стока, м^3/с					
				1%	2%	5%	10%	25%	50%
1882-1970	728	0,43	0,77	1510	1410	1260	1130	917	703
1971-2014	515	0,45	3,35	1340	1120	1010	858	651	479
1882-2014	658	0,46	1,42	1490	1370	1210	1070	848	620

Таблица А.1.4 – Параметры распределения, расчетные значения зимнего стока заданной обеспеченности по однородным и составной кривым распределения

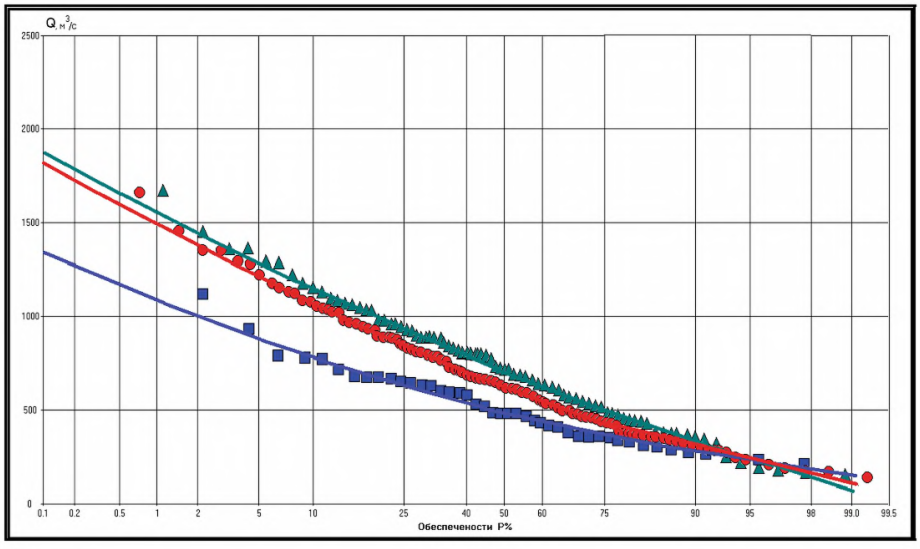
Период наблюдений	Средний расход, $\overline{Q}$, м^3 / с	C_v	C_s/C_v	Обеспеченные значения стока, м^3/с					
				50%	75%	80%	90%	95%	98%
1883-1969	162	0,50	3,15	144	103	95,3	78,6	68,3	59,6
1970-2014	239	0,34	1,13	234	182	171	140	116	90,4
1882-2014	189	0,47	1,80	174	119	108	86,4	73,1	62,3

Таблица А.1.5 – Параметры распределения, расчетные значения летне-осеннего стока заданной обеспеченности по однородным и составной кривым распределения

Период наблюдений	Средний расход, $\overline{Q}$, м^3 / с	C_v	C_s/C_v	Обеспеченные значения стока, м^3/с					
				50%	75%	80%	90%	95%	98%
1883-1969	132	0,44	6,77	109	96,2	95,0	93,8	93,5	93,5
1970-2014	179	0,28	2,94	171	141	135	120	109	97,7
1882-2014	148	0,40	4,76	130	101	97,7	94,4	93,2	92,3

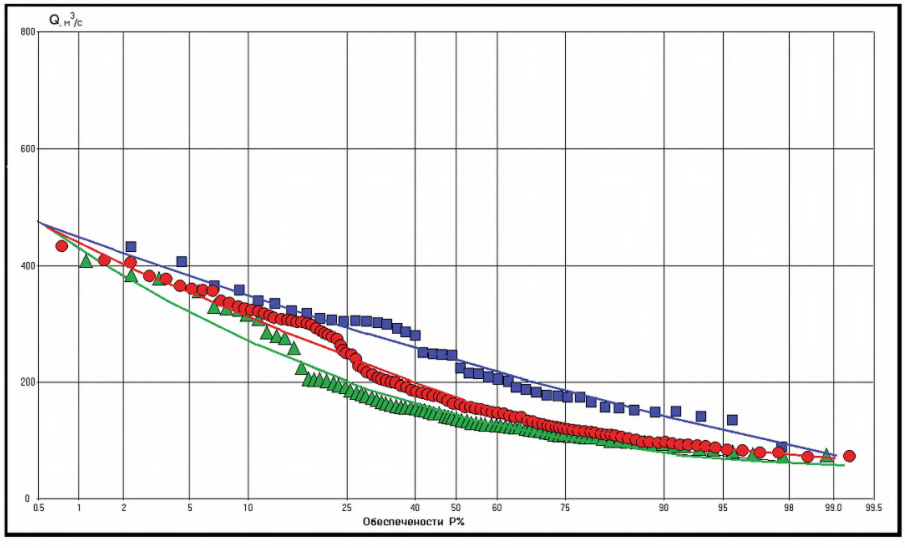
а) весенний сток

▲– для выборки с периодом 1882-1970 гг.;
■ – для выборки с периодом 1971-2014 гг.;
● – составная кривая распределения



б) зимний сток

▲– для выборки с периодом 1883-1970 гг.;
■ – для выборки с периодом 1971-2014 гг.;
● – составная кривая распределения



в) летне-осенний сток

▲– для выборки с периодом 1883-1970 гг.;
■ – для выборки с периодом 1971-2014 гг.;
● – составная кривая распределения

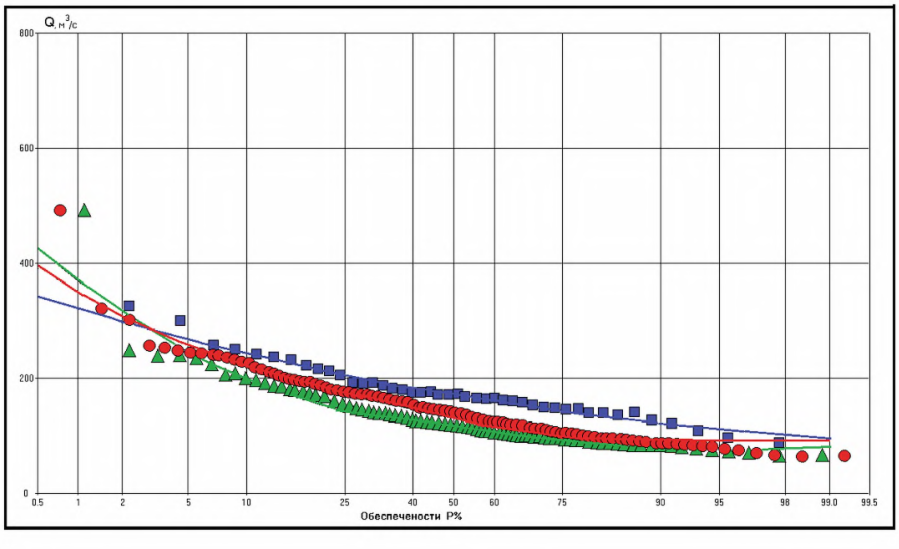


Рисунок А.1.3 - Эмпирические и аналитические кривые распределения
а) весеннего, б) зимнего и в) летне-осеннего стока по г/ст. р.Ока - г.Калуга, м^3/с

А.2 Расчет максимальных расходов воды

Расчет максимальных расходов воды весеннего половодья проведен на примере для р. Ловать в створе г/ст. Великие Луки (площадь водосбора 3270 км^2). Для реализации примера использовались данные о максимальных расходах воды за многолетний период с 1929 по 2014 год включительно (таблица А.2.1).

Таблица А.2.1 – Значения максимальных расходов воды, м^3/с, по г/ст. р.Ловать - г.Великие Луки за период с 1929 по 2014 год

Год	Q	Год	Q	Год	Q	Год	Q
1929	177	1955	151	1975	79,7	1995	59,2
1930	38,2	1956	189	1976	63,3	1996	48,4
1931	238	1957	72,7	1977	55,3	1997	45,2
1932	123	1958	145	1978	105	1998	66,9
1933	121	1959	121	1979	93,2	1999	135
1935	117	1960	76,7	1980	62,6	2000	67,8
1936	104	1961	57,7	1981	77,6	2001	76,1
1937	103	1962	203	1982	59,5	2002	84,3
1938	174	1963	123	1983	102	2003	99
1939	59,7	1964	71,3	1984	59,1	2004	133
1940	77	1965	106	1985	91,6	2005	84,1
1941	168	1966	128	1986	121	2006	75,4
1945	123	1967	68,7	1987	90,7	2007	66,6
1946	154	1968	109	1988	89	2008	88,7
1947	168	1969	77,3	1989	75,9	2009	90,8
1948	124	1970	141	1990	94,8	2010	128
1949	91,2	1971	69,4	1991	85,7	2011	110
1952	36	1972	47,6	1992	103	2012	109
1953	150	1973	67,4	1993	66	2013	108
1954	67,2	1974	18,5	1994	165	2014	32,5

На рисунке А.2.1 приведен хронологический график многолетних колебаний максимальных расходов воды по г/ст. р.Ловать - г.Великие Луки.

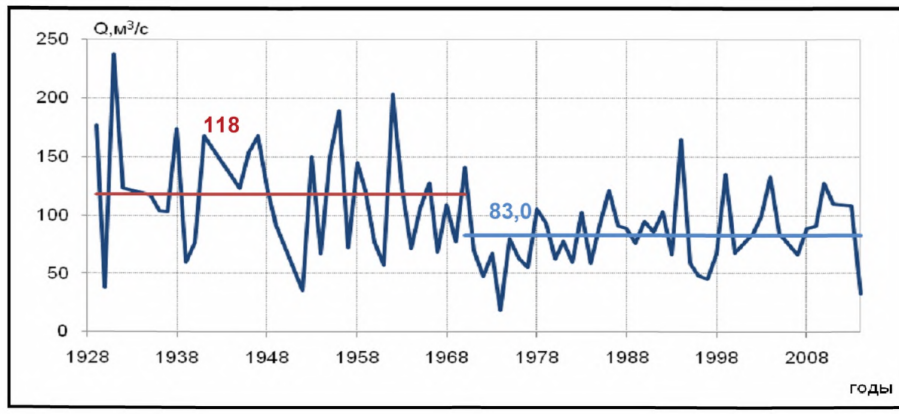
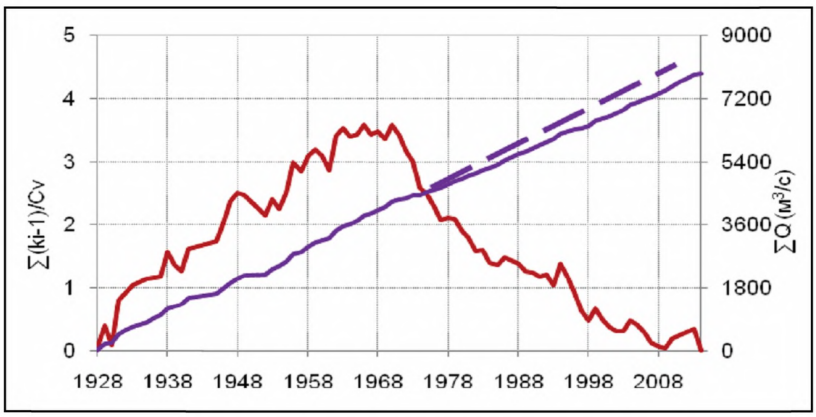


Рисунок А.2.1 – Многолетние колебания максимального стока по г/ст. р.Ловать - г.Великие Луки за период с 1929 по 2014 год

Анализ хронологического хода (см. рисунок А.2.1) показывает, что с начала 1970 годов наблюдается уменьшение максимальных расходов воды и снижение их изменчивости, что указывает на возможную неоднородность стокового ряда.

Анализ суммарной и разностной интегральных кривых максимальных расходов воды (рисунок А.2.2) показал, что рассматриваемый ряд можно разбить на две квазиоднородные совокупности с переломной точкой в 1970 году.



— суммарная кривая; — разностная интегральная кривая

Рисунок А.2.2 – Суммарная и разностная интегральные кривые максимальных расходов воды по г/ст. р.Ловать - г.Великие Луки

После разделения временного ряда на две выборки с периодами 1929-1970 гг. и 1971-2014 гг., произведена проверка однородности рядов по критериям Стьюдента и Фишера - таблица А.2.2. Анализ однородности показал, что рассматриваемый ряд неоднороден, как по среднему, так и по дисперсии. В связи с этим определение расчетных характеристик максимального стока выполняется с использованием составной кривой распределения вероятностей.

Таблица А.2.2 – Оценка однородности максимальных расходов воды, по критериям Стьюдента и Фишера по г/ст. р. Ловать - г.Великие Луки

Период наблюдений	Среднее значение	Дисперсия, σ	Критерии*	
			Стьюдента	Фишера
1	2	3	4	5
1929-1970	118	47,5	3,75 / 2,03	2,73 / 1,96
1971-2014	83,0	28,7		
			неоднороден	неоднороден

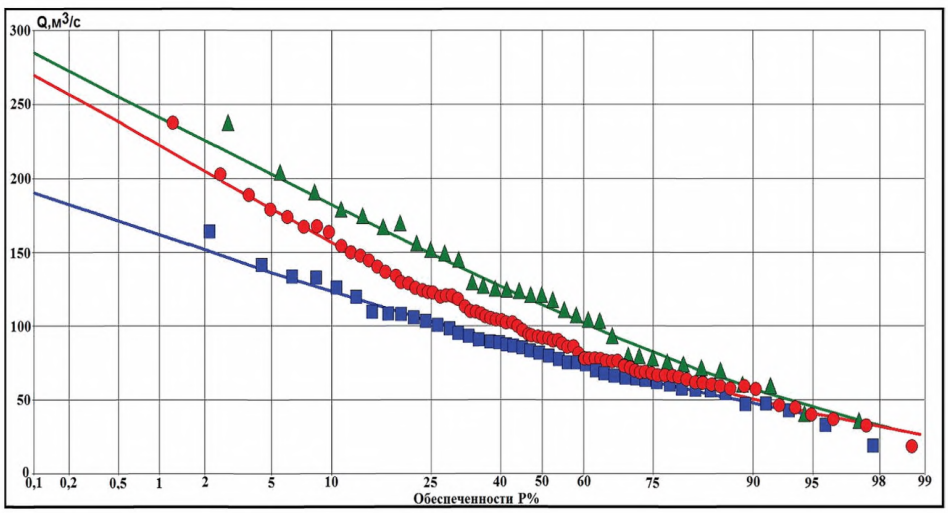
* В столбцах 4 и 5 в числителе приводится расчетное значение критерия, а в знаменателе - его критическое значение

Для каждой выборки за периоды 1929 - 1970 гг. и 1971 - 2014 гг. произведены расчеты и построены эмпирические кривые обеспеченностей, а также выполнен подбор аналитических кривых обеспеченностей, соотношений C_s/C_v и рассчитаны параметры составной кривой распределения.

Результаты расчетов представлены в таблице А.2.3 и показаны на рисунке А.2.3.

Таблица А.2.3 – Параметры распределения, расчетные значения максимального стока заданной обеспеченности по однородным и составной кривым распределения

Период наблюдений	Средний расход, $м^3/с$	Cv	Cs/Cv	Обеспеченные значения, $м^3/с$							
				0,1%	1%	5%	10%	20%	25%	30%	50%
1929-1970	118	0,40	0,9	290	241	201	181	157	148	141	115
1971-2014	83,0	0,34	1,3	189	158	133	121	106	101	96,2	80,8
1929-2014	98,8	0,42	2,0	275	223	179	156	131	122	115	92,6



▲– для выборки с периодом 1929 -1970 гг.; ■ – для выборки с периодом 1971-2014 гг.;
● – составная кривая распределения

Рисунок А.2.3 – Эмпирические и аналитические кривые распределения максимальных расходов воды весеннего половодья для г/ст. р.Ловать - г.Великие Луки

А.3 Расчет слоя стока весеннего половодья

В качестве примера выполнен расчет слоя стока весеннего половодья для р.Кема в створе г/ст. д.Левково (площадь водосбора 4160 км^2). Для реализации данного примера использовались данные по слоям стока весеннего половодья за многолетний период с 1947 по 2012 год - таблица А.3.1.

Таблица А.3.1 – Значения слоев стока весеннего половодья h, мм, по г/ст. р.Кема - д.Левково за период с 1947 по 2012 год

Год	h, мм	Год	h, мм	Год	h, мм	Год	h, мм
1947	133	1964	147	1981	238	1998	169
1948	163	1965	157	1982	189	1999	124
1949	131	1966	318	1983	152	2000	170
1950	111	1967	165	1984	200	2001	165
1951	132	1968	214	1985	149	2002	149
1952	165	1969	211	1986	124	2003	133
1953	185	1970	125	1987	155	2004	195
1954	136	1971	240	1988	122	2005	166
1955	332	1972	135	1989	123	2006	99
1956	120	1973	137	1990	141	2007	109
1957	202	1974	183	1991	199	2008	141
1958	278	1975	129	1992	156	2009	137
1959	177	1976	192	1993	142	2010	152
1960	141	1977	198	1994	171	2011	139
1961	219	1978	167	1995	183	2012	119
1962	149	1979	149	1996	94		
1963	122	1980	147	1997	164		

На рисунке А.3.1 приведен хронологический график многолетних колебаний слоя стока весеннего половодья по г/ст. р.Кема - д.Левково.

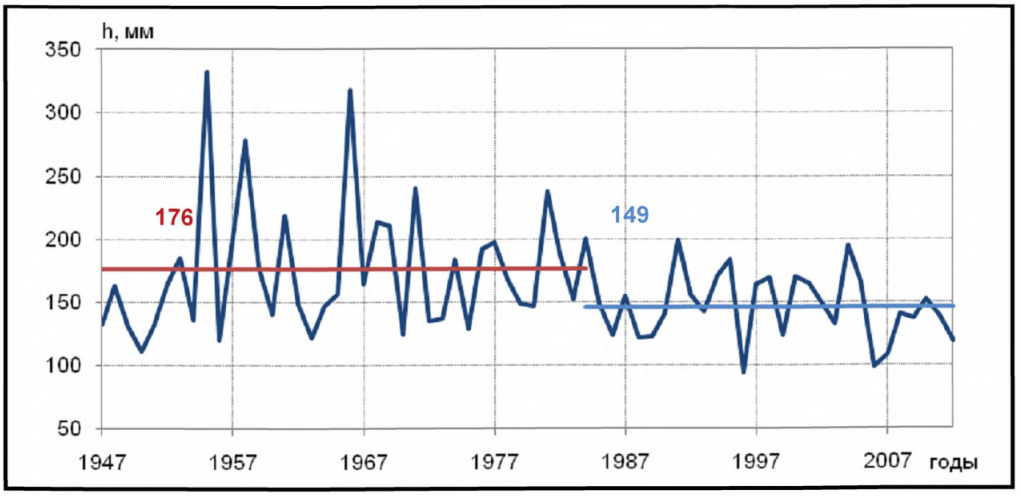
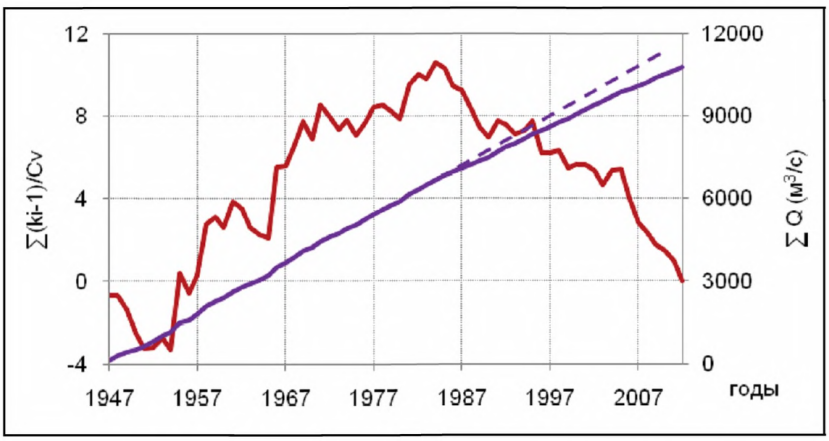


Рисунок А.3.1 – Многолетние колебания слоя стока весеннего половодья по г/ст. р.Кема - д.Левково за период с 1947 по 2012 год

Хронологический ход слоя стока весеннего половодья (см. рисунок А.3.1) показывает, что с 1984 года наблюдается тенденция уменьшения слоя стока, и снижение его изменчивости, что указывает на возможную неоднородность стокового ряда.

Анализ суммарной и разностной интегральных кривых слоя стока (рисунок А.3.2) показал, что рассматриваемый ряд можно разбить на две квазиоднородные совокупности с переломной точкой в 1984 году.



— суммарная кривая; — разностная интегральная кривая

Рисунок А.3.2 – Суммарная и разностная интегральные кривые слоев весеннего половодья по г/ст. р.Кема - д.Левково

Проверка однородности по критериям Стьюдента и Фишера для периодов 1947 - 1984 гг. и 1985 - 2012 гг. (таблица А.3.2) показала, что рассматриваемый ряд неоднороден, как по среднему, так и по дисперсии. В связи с этим определение расчетных характеристик слоя стока весеннего половодья выполняется с использованием составной кривой распределения вероятностей.

Таблица А.3.2 – Оценка однородности слоя стока весеннего половодья по критериям Стьюдента и Фишера по г/ст. р.Кема - д.Левково

Период наблюдений	Среднее значение	Дисперсия, σ	Критерии*	
			Стьюдента	Фишера
1	2	3	4	5
1947-1984	176	52,3	2,45	3,51
1985-2012	149	27,9	2,05	2,10
			неоднороден	неоднороден

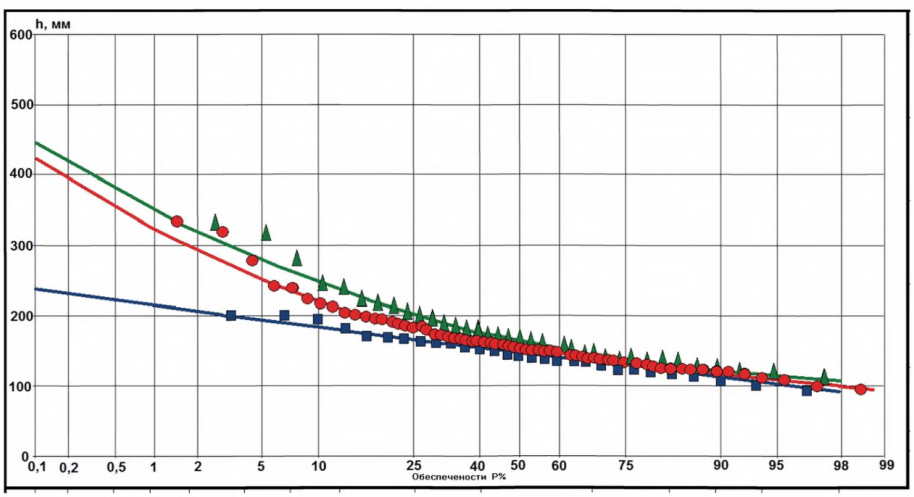
* В столбцах 4 и 5 в числителе приводится расчетное значение критерия, а в знаменателе - его критическое значение

Для каждой выборки за периоды 1947 - 1984 гг. и 1985 - 2012 гг. произведены расчеты и построены эмпирические кривые обеспеченностей, а также выполнен подбор аналитических кривых обеспеченностей, соотношений C_s/C_v и рассчитаны параметры составной кривой распределения.

Результаты расчетов представлены в таблице А.3.3 и показаны на рисунке А.3.3.

Таблица А.3.3 – Параметры распределения, расчетные значения слоя стока весеннего половодья заданной обеспеченности по однородным и составной кривым распределения

Период наблюдений	Средний расход, $м^3/с$	Cv	Cs/Cv	Обеспеченные значения, $м^3/с$							
				0,1%	1%	5%	10%	20%	25%	30%	50%
1947-1984	176	0,30	4,7	446	349	279	246	213	201	192	164
1985-2012	149	0,19	0,4	238	215	195	184	171	166	162	148
1947-2012	163	0,28	5,9	423	323	252	220	191	182	175	155



■ – для выборки с периодом 1947 -1984 гг.; ▲ – для выборки с периодом 1985-2012 гг.; ● – составная кривая распределения

Рисунок А.3.3 – Эмпирические и аналитические кривые распределения слоя стока весеннего половодья для г/ст. р.Кема - д.Левково

А.4 Расчет минимальных 30-ти суточных зимних расходов воды

Рассмотрим динамику многолетних колебаний минимальных 30-ти суточных зимних расходов воды р.Тихвинки в створе г/ст. д.Горелуха (площадь водосбора 2070 км^2) . Для анализа использовались данные по минимальным 30-ти суточным зимним расходам воды за многолетний период с 1936 по 2014 год включительно (таблица А.4.1).

Таблица А.4.1 – Значения минимальных 30-ти суточных зимних расходов воды, м^3/с, по г/ст. р.Тихвинка - д.Горелуха за период с 1936 по 2014 год

Год	Q	Год	Q	Год	Q	Год	Q
1936	5,51	1956	4,31	1976	6,21	1996	5,74
1937	3,15	1957	8,73	1977	4,82	1997	8,19
1938	3,32	1958	9,20	1978	7,23	1998	8,98
1939	2,99	1959	8,56	1979	7,45	1999	7,26
1940	1,47	1960	3,50	1980	5,14	2000	7,19
1941	3,94	1961	6,46	1981	9,51	2001	9,27
1942	2,50	1962	6,27	1982	7,65	2002	7,07
1943	6,96	1963	4,63	1983	10,0	2003	2,28
1944	7,08	1964	5,00	1984	13,4	2004	7,74
1945	2,72	1965	7,44	1985	6,27	2005	14,2
1946	4,35	1966	6,18	1986	6,23	2006	3,14
1947	3,20	1967	5,25	1987	8,35	2007	8,68
1948	5,37	1968	6,29	1988	6,48	2008	8,97
1949	8,55	1969	5,67	1989	12,2	2009	8,69
1950	4,04	1970	6,63	1990	7,82	2010	8,25
1951	4,92	1971	6,55	1991	9,98	2011	9,55
1952	4,22	1972	4,45	1992	15,6	2012	6,45
1953	6,61	1973	4,12	1993	9,14	2013	7,05
1954	6,07	1974	5,84	1994	5,02	2014	9,7
1955	7,33	1975	11,2	1995	11,6		

На рисунке А.4.1 приведен хронологический график многолетних колебаний минимальных 30-ти суточных зимних расходов воды по г/ст. р.Тихвинка - д.Горелуха.

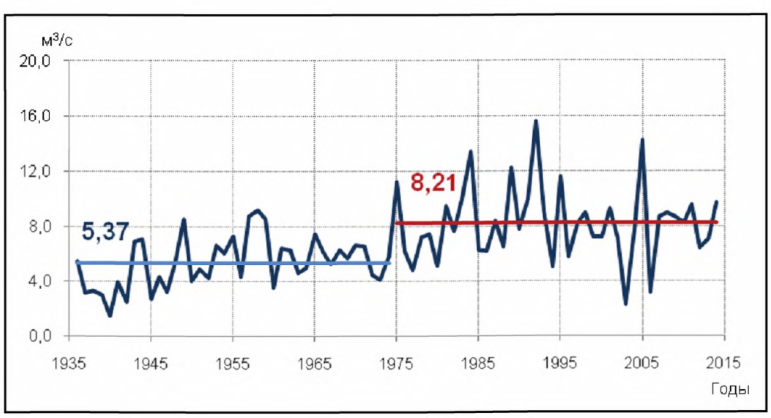
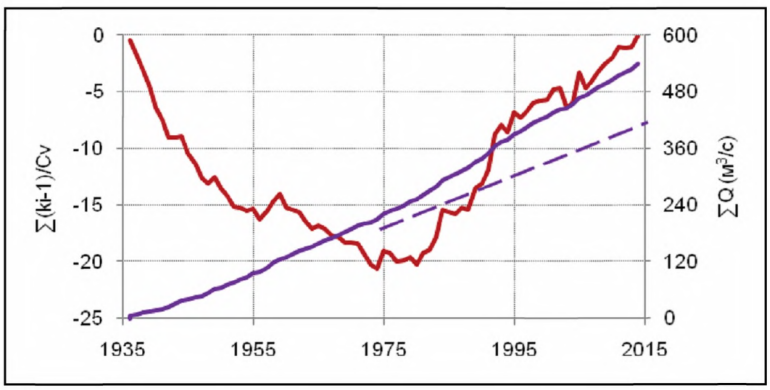


Рисунок А.4.1 – Многолетние колебания минимальных 30-ти суточных зимних расходов воды по г/ст. р.Тихвинка - д.Горелуха за период с 1936 по 2014 год

Анализ хронологического хода (рисунок А.4.1) показывает, что, начиная с 1970 года в колебаниях стока реки наблюдается значительное увеличение минимальных 30-ти суточных зимних расходов воды, что указывает на возможную неоднородность стокового ряда.

На основе анализа суммарной и разностной интегральных кривых распределения (рисунок А.4.2) сделан вывод о том, что рассматриваемый ряд можно разбить на две относительно однородные совокупности с переломной точкой в 1974 году.



— суммарная кривая; — разностная интегральная кривая

Рисунок А.4.2 – Суммарная и разностная интегральные кривые минимальных 30-ти суточных зимних расходов воды по г/ст. р.Тихвинка - д.Горелуха

Проверка однородности по критериям Стьюдента и Фишера (таблица А.4.2) произведена после разделения временного ряда на две однородные выборки с периодами 1936 - 1974 гг. и 1975 - 2014 гг.

Установлено, что рассматриваемый ряд неоднороден по среднему значению и на грани неоднородности - по дисперсии. В связи с этим определение расчетных значений минимальных 30-ти суточных зимних расходов воды выполняется с использованием составной кривой распределения вероятностей.

Таблица А.4.2 – Оценка однородности минимальных 30-ти суточных зимних расходов воды по критериям Стьюдента и Фишера по г/ст. р.Тихвинка - д.Горелуха

Период наблюдений	Среднее значение	Дисперсия, σ	Критерии*	
			Стьюдента	Фишера
1	2	3	4	5
1936-1974	5,37	2,06	4,85	1,79
1975-2014	8,21	2,76	2,17	1,80
			неоднороден	однороден

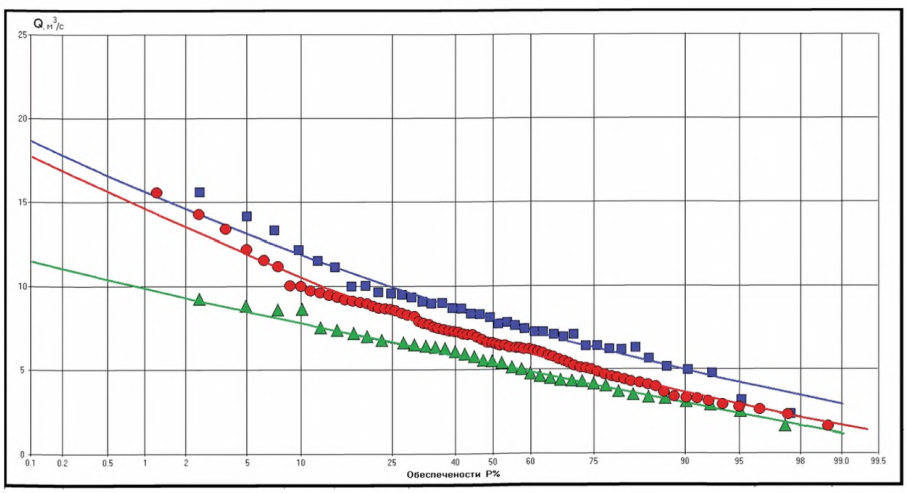
* В столбцах 4 и 5 в числителе приводится расчетное значение критерия, а в знаменателе - его критическое значение

Для каждой выборки за периоды 1936 - 1974 гг. и 1975 - 2014 гг. произведены расчеты и построены эмпирические кривые обеспеченностей, а также выполнен подбор аналитических кривых обеспеченностей, соотношений C_s/C_v и рассчитаны параметры составной кривой распределения.

Результаты расчетов представлены в таблице А.4.3 и показаны на рисунке А.4.3.

Таблица А.4.3 – Параметры распределения, расчетные значения минимальных 30-ти суточных зимних расходов воды заданной обеспеченности по однородным и составной кривым распределения по г/ст. р.Тихвинка - д.Горелуха

Период наблюдений	Средний расход, $м^3/с$	Cv	Cs/Cv	Обеспеченные значения, $м^3/с$							
				50%	60%	70%	75%	80%	90%	95%	98%
1936-1974	5,37	0,35	0,5	5,32	4,85	4,35	4,08	3,78	3,01	2,40	1,70
1975-2014	8,21	0,33	1,0	8,09	7,42	6,7	6,32	5,92	4,85	4,03	3,11
1936-2014	6,82	0,40	1,0	6,49	5,85	5,21	4,86	4,49	3,58	2,86	2,11



▲– для выборки с периодом 1936-74 гг.; ■ – для выборки с периодом 1975-2014 гг.;
● – составная кривая распределения

Рисунок А.4.3 – Эмпирические и аналитические кривые распределения минимальных 30-ти суточных зимних расходов воды по г/ст. р.Тихвинка - д.Горелуха

А.5 Расчет минимальных 30-ти суточных летних расходов воды

Рассмотрим динамику многолетних колебаний минимальных 30-ти суточных летних расходов воды р.Великая в г/ст. д.Пятоново (площадь водосбора 20000 км^2) . Для анализа использовались данные по минимальным 30-ти суточным летним расходам воды за многолетний период с 1935 по 2014 год (таблица А.5.1).

Таблица А.5.1 – Значения минимальных 30-ти суточных летних расходов воды, м^3/с, по г/ст. р.Великая - д.Пятоново за период с 1935 по 2014 год

Год	Q	Год	Q	Год	Q	Год	Q
1935	41,7	1955	44,6	1975	25,8	1995	24,3
1936	13,3	1956	61,5	1976	25,9	1996	22,4
1937	27,7	1957	51,2	1977	61,9	1997	29,3
1938	14,6	1958	14,0	1978	30,5	1998	140
1939	7,40	1959	39,0	1979	32,1	1999	21,9
1940	13,1	1960	24,2	1980	40,4	2000	32,2
1941	28,8	1961	102	1981	37,0	2001	59,8
1942	-	1962	23,6	1982	31,0	2002	28,8
1943	-	1963	22,1	1983	29,9	2003	20,2
1944	-	1964	29,9	1984	60,0	2004	54,0
1945	25,5	1965	38,1	1985	53,5	2005	45,4
1946	33,4	1966	24,6	1986	136	2006	33,0
1947	17,7	1967	40,1	1987	54,9	2007	33,5
1948	40,5	1968	24,8	1988	49,8	2008	29,1
1949	50,8	1969	25,1	1989	48,5	2009	26,0
1950	20,4	1970	19,5	1990	50,3	2010	60,2
1951	16,0	1971	27,0	1991	25,1	2011	40,4
1952	40,1	1972	17,4	1992	35,9	2012	26,4
1953	19,0	1973	36,5	1993	43,9	2013	29,6
1954	29,9	1974	21,9	1994	25,8	2014	28,6

На рисунке А.5.1 приведен хронологический график многолетних колебаний минимальных 30-ти суточных летних расходов воды по г/ст. р.Великая - д.Пятоново.

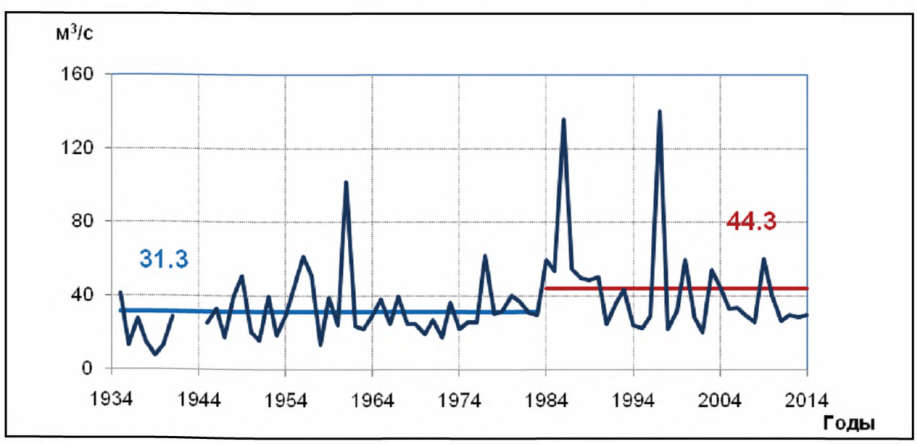
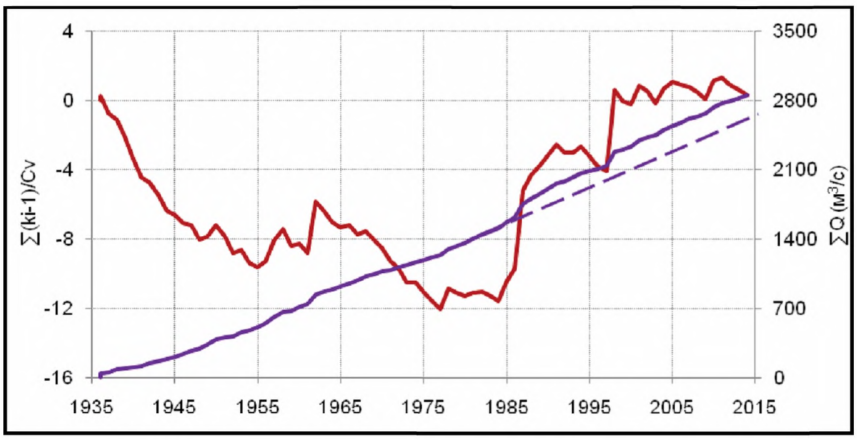


Рисунок А.5.1 – Многолетние колебания минимальных 30-ти суточных летних расходов воды по г/ст. р.Великая - д.Пятоново за период с 1935 по 2014 год

Анализ хронологического хода (см. рисунок А.5.1) показывает, что в колебаниях стока реки наблюдается увеличение минимальных летних расходов воды, начиная с 80-х годов, что указывает на возможную неоднородность стокового ряда.

На основе анализа суммарной и разностной интегральных кривых (рисунок А.5.2) сделан вывод о том, что рассматриваемый ряд можно разбить на две относительно однородные совокупности с переломной точкой в 1984 году.



— суммарная кривая; — разностная интегральная кривая

Рисунок А.5.2 – Суммарная и разностная интегральные кривые минимальных 30-ти суточных летних расходов воды по г/ст. р.Великая - д.Пятоново

Проверка однородности по критериям Стьюдента и Фишера для двух периодов 1935 - 1983 гг. и 1984 - 2014 гг. (см. таблица А.5.2) показала, что рассматриваемый ряд неоднороден по среднему и дисперсии. В связи с этим определение расчетных характеристик минимального 30-ти суточного летнего расхода воды выполняется с использованием составной кривой распределения вероятностей.

Таблица А.5.2 – Оценка однородности минимальных 30-ти суточных летних расходов воды по критериям Стьюдента и Фишера по г/ст. р.Великая - д.Пятоново

Период наблюдений	Среднее значение	Дисперсия, σ	Критерии*	
			Стьюдента	Фишера
1	2	3	4	5
1935-1983	31,3	16,4	2,50	2,93
1984-2014	44,3	28,0	2,17	2,00
			неоднороден	неоднороден

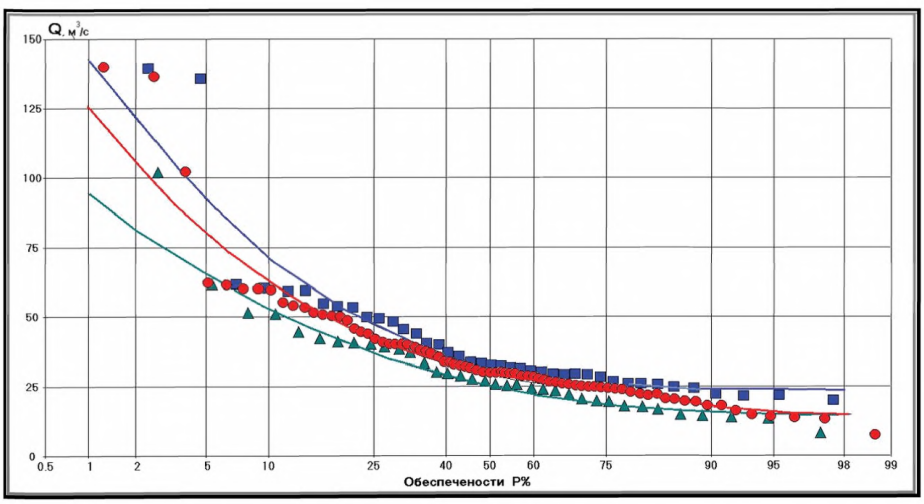
* В столбцах 4 и 5 в числителе приводится расчетное значение критерия, а в знаменателе - его критическое значение

Для каждой выборки за периоды 1935 - 1983 гг. и 1984 - 2014 гг. произведены расчеты и построены эмпирические кривые обеспеченностей, а также выполнен подбор аналитических кривых обеспеченностей, соотношений C_s/C_v и рассчитаны параметры составной кривой распределения.

Результаты расчетов представлены в таблице А.5.3 и показаны на рисунке А.5.3.

Таблица А.5.3 – Параметры распределения, расчетные значения минимальных 30-ти суточных летних расходов воды заданной обеспеченности по однородным и составной кривым распределения по г/ст. р.Великая - д.Пятоново

Период наблюдений	Средний расход, $м^3/с$	Cv	Cs/Cv	Обеспеченные значения, $м^3/с$							
				50%	60%	70%	75%	80%	90%	95%	98%
1935-1983	31,3	0,52	4,0	26,2	23,3	21,0	20,0	18,9	17,2	16,4	16,0
1984-2014	44,3	0,63	4,0	34,1	30,0	27,2	25,7	24,5	23,1	22,6	22,4
1935-2014	36,5	0,61	4,5	29,2	26,0	23,6	22,8	21,8	18,4	16,9	16,2



▲– для выборки с периодом 1935-83 гг.; ■ – для выборки с периодом 1984-2014 гг.;
● – составная кривая распределения

Рисунок А.5.3 – Эмпирические и аналитические кривые распределения минимальных 30-ти суточных летних расходов воды по г/ст. р.Великая - д.Пятоново

А.6 Расчет максимального стока по составной кривой и по «сумме распределений» на основе байесовских подходов

Рассмотрим динамику многолетних колебаний максимальных расходов весеннего половодья воды р.Шемша в г/ст. с.Петропавловская Слобода (площадь водосбора 3110 км^2). Исходный ряд максимальных расходов весеннего половодья за многолетний период с 1934 по 2014 год включительно приведен в таблице А.6.1.

Таблица А.6.1 – Значения максимального стока весеннего половодья, м^3/с, по г/ст. р.Шешма - с.Петропавловская Слобода за период с 1934 по 2014 год

Год	Q	Год	Q	Год	Q	Год	Q
1934	67	1955	242	1976	89,6	1997	151
1935	52,9	1956	111	1977	159	1998	173
1936	143	1957	398	1978	127	1999	239
1937	54,7	1958	204	1979	460	2000	192
1938	264	1959	292	1980	160	2001	219
1939	205	1960	153	1981	128	2002	60,1
1940	320	1961	351	1982	339	2003	122
1941	226	1962	201	1983	160	2004	54,2
1942	411	1963	524	1984	60,8	2005	194
1943	306	1964	215	1985	265	2006	116
1944	37,5	1965	169	1986	163	2007	66,9
1945	311	1966	243	1987	217	2008	77,2
1946	205	1967	151	1988	305	2009	85,7
1947	625	1968	157	1989	59,3	2010	97,6
1948	371	1969	544	1990	133	2011	200
1949	189	1970	188	1991	248	2012	251
1950	455	1971	212	1992	144	2013	163
1951	235	1972	250	1993	114	2014	27,2
1952	49,8	1973	71,6	1994	197		
1953	174	1974	85,2	1995	185		
1954	148	1975	115	1996	99		

На рисунке А.6.1 приведен хронологический график максимальных расходов воды весеннего половодья по г/ст. р.Шешма - с.Петропавловская Слобода.

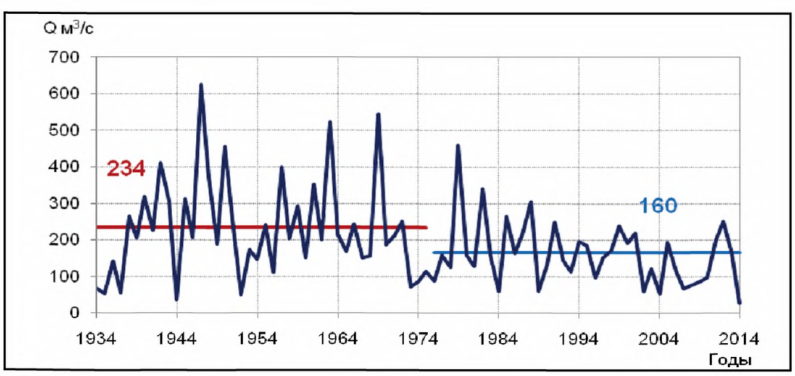
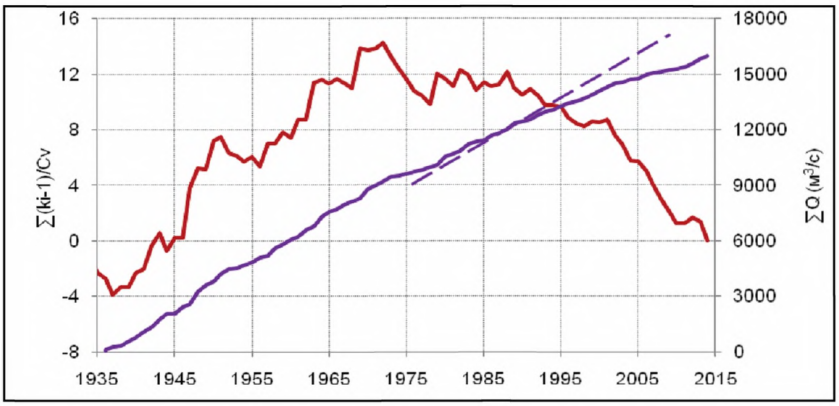


Рисунок А.6.1 – Многолетние колебания максимальных расходов воды весеннего половодья по г/ст. р.Шешма - с.Петропавловская Слобода за период с 1934 по 2014 год

Анализ хронологического хода (рисунок А.6.1) показывает, что в многолетних колебаниях стока весеннего половодья по г/ст. р.Шешма - с.Петропавловская Слобода наблюдается уменьшение максимальных расходов весеннего половодья, начиная с 70-х годов, что указывает на возможную неоднородность стокового ряда.



— суммарная кривая; — разностная интегральная кривая

Рисунок А.6.2 – Суммарная и разностная интегральные кривые максимальных расходов весеннего половодья по г/ст. р.Шешма - с.Петропавловская Слобода

На основе анализа суммарной и разностной интегральных кривых (рисунок А.6.2) сделан вывод о том, что рассматриваемый ряд можно разбить на две относительно однородные совокупности с переломной точкой в 1975 г.

Оценка однородности по критериям Стьюдента и Фишера (таблица А.6.2) выполнена при разделении временного ряда на две квазиоднородные выборки с периодами 1934 - 1975 гг. и 1976 - 2014 гг . Рассматриваемый ряд неоднороден как по среднему значению, так и по дисперсии, что говорит о правомерности использования составных кривых обеспеченности. В связи с этим определение расчетных характеристик слоя стока весеннего половодья выполняется с использованием составной кривой распределения вероятностей.

Таблица А.6.2 – Оценка однородности максимальных расходов весеннего половодья расходов воды по критериям Стьюдента и Фишера по г/ст. р.Шешма - с.Петропавловская Слобода

Период наблюдений	Среднее значение	Дисперсия, σ	Критерии*	
			Стъюдента	Фишера
1	2	3	4	5
1934-1975	234	141	2,56	2,74
1976-2014	160	84,9	2,21	1,97
			неоднороден	неоднороден

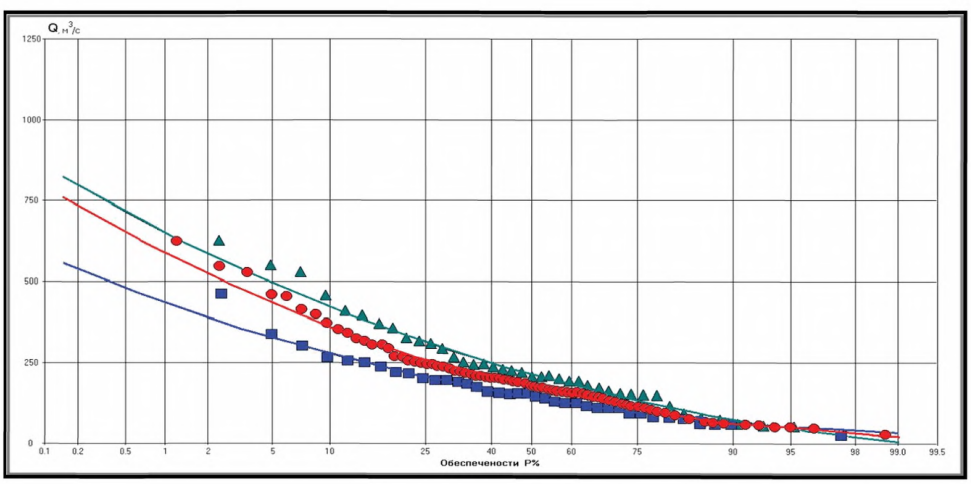
* В столбцах 4 и 5 в числителе приводится расчетное значение критерия, а в знаменателе - его критическое значение

Для каждой выборки за периоды 1934 - 1975 гг. и 1976 - 2014 гг. произведены расчеты и построены эмпирические кривые обеспеченностей, а также выполнен подбор аналитических кривых обеспеченностей, соотношений C_s/C_v и рассчитаны параметры составной кривой распределения.

Результаты расчетов представлены в таблице А.6.3 и показаны на рисунке А.6.3.

Таблица А.6.3 – Параметры распределения, расчетные значения максимальных расходов весеннего половодья расходов воды заданной обеспеченности по однородным и составной кривым распределения по г/ст. р.Шешма - с.Петропавловская Слобода

Период наблюдений	Средний расход, $м^3/с$	Cv	Cs/Cv	Обеспеченные значения, $м^3/с$							
				0,1%	1%	5%	10%	20%	25%	30%	50%
1934-1975	234	0,59	1,58	853	649	495	421	341	312	289	213
1976-2014	160	0,54	2,28	580	435	327	276	223	205	190	144
1934-2014	198	0,61	2,08	799	592	435	363	286	260	238	172



▲– для выборки с периодом 1934-75 гг.; ■ – для выборки с периодом 1976-2014 гг.;
● – составная кривая распределения

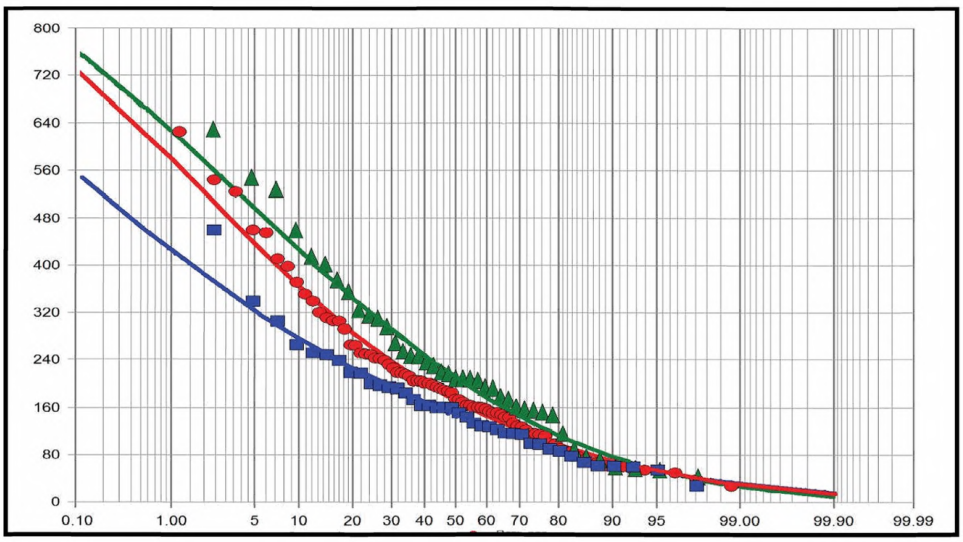
Рисунок А.6.3 – Эмпирические и аналитические кривые распределения максимальных расходов весеннего половодья по г/ст. р.Шешма - с.Петропавловская Слобода

Для сравнения результатов был произведен расчет максимальных расходов по «сумме распределений» на основе байесовских подходов (5.2.2).

В таблице А.6.4 и на рисунке А.6.4 и представлены результаты этих расчетов.

Таблица А.6.4 – Параметры распределения, расчетные значения максимальных расходов весеннего половодья расходов воды заданной обеспеченности по байесовскому подходу по г/ст. р.Шешма - с.Петропавловская Слобода

Период наблюдений	Средний расход, $м^3/с$	Cv	Cs/Cv	Обеспеченные значения, $м^3/с$							
				0,1%	1%	5%	10%	20%	25%	30%	50%
1934-1975	234	0,53	1,43	760	628	497	427	346	291	247	210
1976-2014	160	0,58	2,07	554	424	323	2476	224	191	165	144
1934-2014	198	0,61	1,98	728	580	437	365	286	237	201	171



▲– для выборки с периодом 1934-75 гг.; ■ – для выборки с периодом 1976-2014 гг.; ● – весь ряд

Рисунок А.6.4 – Комбинированная байесовская кривая распределения максимальных расходов весеннего половодья по г/ст. р.Шешма - с.Петропавловская Слобода

Сравнительный анализ расчетных значений максимальных расходов весеннего половодья, полученный на основе этих методов, показал их сходимость в пределах погрешностей расчетов.

Приложение Б
(рекомендуемое)

Пример расчета максимальных расходов воды с учетом экстремального значения расхода

В качестве примера рассмотрим определение расчетных значений максимальных расходов воды р. Амур - г. Хабаровск с учетом экстремального значения расхода в 2013 году.

Расчет максимальных расходов воды осуществлялся за период с 1896 по 2014 год включительно (см. таблицу Б.1).

На рисунке Б.1 приведен многолетний ход максимальных расходов воды. Отмечено, что максимальный расход в 2013 г. резко отклоняется от остальных значений стока исследуемого ряда наблюдений. Результаты оценки статистической значимости однородности резко отклоняющихся экстремальных значений по критериям Смирнова-Граббса и Диксона даны в таблице Б.2.

Таблица Б.1 – Значения максимальных расходов воды, $м^3/с$, по г/ст. р. Амур – г. Хабаровск за период с 1896 по 2014 год

Год	Q	Год	Q	Год	Q	Год	Q	Год	Q
1896	33100	1920	23200	1944	18800	1968	17900	1992	18200
1897	40000	1921	13900	1945	23800	1969	22800	1993	23200
1898	24000	1922	21000	1946	26700	1970	19100	1994	24200
1899	19700	1923	20800	1947	25000	1971	26000	1995	20400
1900	23400	1924	19700	1948	24200	1972	32900	1996	22800
1901	30100	1925	16700	1949	23800	1973	25200	1997	20700
1902	38200	1926	14300	1950	18300	1974	22200	1998	31800
1903	19800	1927	22400	1951	38200	1975	17700	1999	18500
1904	23600	1928	34500	1952	18900	1976	16400	2000	19500
1905	18000	1929	28700	1953	35300	1977	21200	2001	16600
1906	23600	1930	21000	1954	13900	1978	18800	2002	14100
1907	27200	1931	24200	1955	27300	1979	13500	2003	21600
1908	25000	1932	37200	1956	34200	1980	17800	2004	24700
1909	21200	1933	20900	1957	35500	1981	31000	2005	22400
1910	30800	1934	22300	1958	30100	1982	19800	2006	21100
1911	35000	1935	24000	1959	38900	1983	20400	2007	16800
1912	20900	1936	27000	1960	34300	1984	32900	2008	8560
1913	18600	1937	24600	1961	29400	1985	28600	2009	29400
1914	20600	1938	29400	1962	25500	1986	19400	2010	25900
1915	32800	1939	22200	1963	25500	1987	23600	2011	18100
1916	29700	1940	21700	1964	23200	1988	22900	2012	19000
1917	27500	1941	26400	1965	22200	1989	25800	2013	46100
1918	19300	1942	22100	1966	25300	1990	23300	2014	19500
1919	20400	1943	22800	1967	20900	1991	29300		

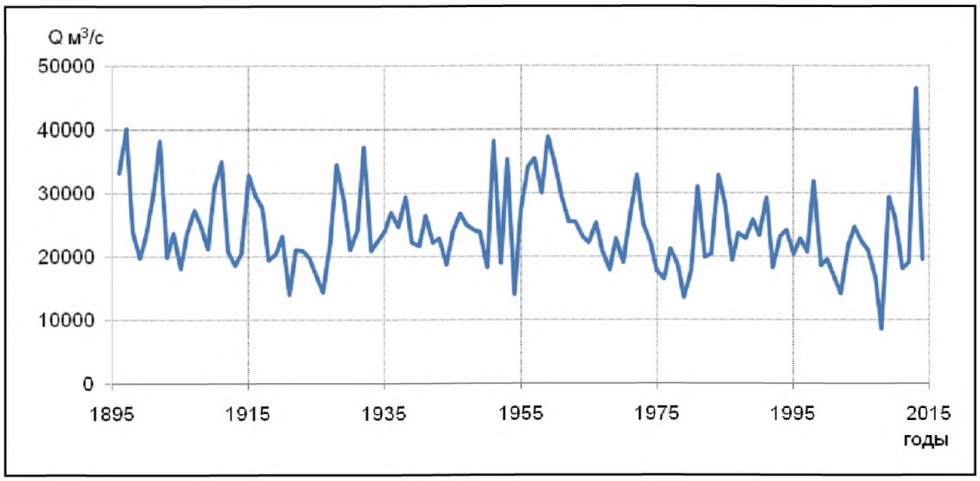


Рисунок Б.1 – Хронологический ход значений максимальных расходов воды, $м^3/с$, по г/ст. р. Амур – г. Хабаровск за период с 1896 по 2014 год

Таблица Б.2 – Оценка однородности максимального стока по критериям Диксона и Смирнова-Граббса максимальных расходов воды, $м^3/с$, по г/ст. р. Амур – г. Хабаровск

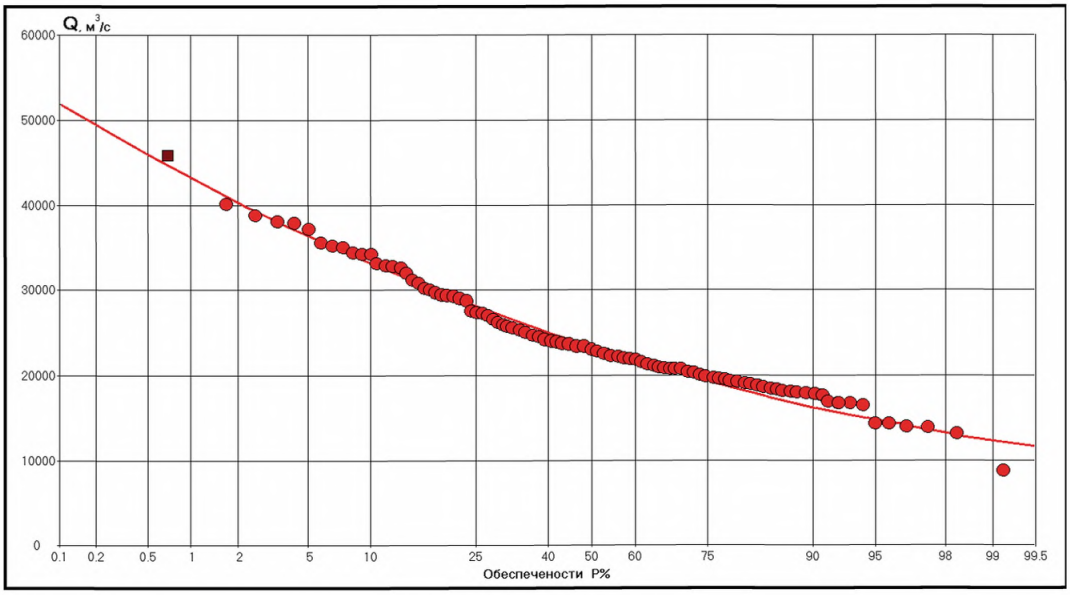
Критерии Диксона										Критерии Смирнова-Граббса	
D1n	D2n	D3n	D4n	D5n	D11	D21	D31	D41	D51	Gn	G1
0,169 0,267	0,195 0,275	0,228 0,335	0,231 0,346	0,198 0,329	0,131 0,071	0,157 0,083	0,170 0,108	0,176 0,105	0,141 0,099	3,467 4,312	2,442 2,113
-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+

Примечания
1 В 3 строке в числителе приведено расчетное значение критерия, а в знаменателе - критическое значение.
2 В 4 строке дан результат анализа однородности:
«-» - значение ряда однородно; «+» - значение ряда неоднородно.

Результаты анализа таблицы Б.2 показали, что, согласно статистики Диксона неоднородными относительно эмпирических данных наблюдений являются первые пять значений ряда. Экстремальное значение стока за 2013 г. также неоднородно относительно всей совокупности ряда.

Кривая распределения максимальных расходов с учетом исторического максимума 2013 года представлена на рисунке Б.2. Расчетные параметры распределения определены по формулам (5.20) и (5.21).

Максимальному расходу 2013 года определена повторяемость раз в 142 года, так как известно, что имелось еще одно выдающееся наблюдение за уровнем воды в 1872 году.



● – эмпирические точки; ■ исторический максимум

Рисунок Б.2– Эмпирическая и аналитическая кривые распределения максимальных расходов воды, м^3/с, по г/ст. р. Амур – г. Хабаровск с учетом исторического максимума

Таблица Б.3 – Параметры распределения кривой обеспеченности, расчетные значения заданной обеспеченности по г/ст. р. Амур – г. Хабаровск с учетом исторического максимума 2013 года

Максимальный расход, $\overline{Q}, м^3/с$	Cv	Cs/Cv	Обеспеченные значения, м^3/с						
			0,1%	0,5%	1%	5%	10%	25%	50%
24200	0,28	2,70	52000 4220	46000 3150	43200 2630	36100 1640	33100 1300	28100 919	23300 696
Примечание - В числители 3-й строки даны расчетные заданной обеспеченности, а в знаменателе - их средние квадратические погрешности.									

Анализ таблицы Б.3 показывает, что по г/ст. р. Амур – г. Хабаровск измеренный максимальный расход воды $Q_{макс}$ = 46100 м^3/с и имеет повторяемость раз в 200 лет.

Библиография

[1] Водные ресурсы России и их использование /под ред. И.А. Шикломанова. - СПб., Государственный гидрологический институт, 2008. 600 с.

[2] Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, I том. Изменения климата. - 227 с.; II том. Последствия изменений климата. - М.: Изд. Росгидромета, 2008. 288 с.

[3] Георгиевский В.Ю. Водные ресурсы рек Российской федерации. Сб. Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов, Тр.IV Всероссийской научной конференции, - М., 2015. С. 5-8

[4] Болгов М.В. Экстремальные гидрологические явления: оценки и принятие решений в условиях неопределенности факторов формирования. Сб. Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов, Тр.IV Всероссийской научной конференции, - М., 2015. С.13-19

[5] Лобанова А.Г. Особенности расчета основных гидрологических характеристику в условиях их временной нестационарности /А.Г.Лобанова и др. // Сб. Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов. Сб. науч. тр. Тр.IV Всероссийской научной конференции. - М., 2015. С.313-315

[6] Методические указания по оценке влияния хозяйственной деятельности на сток средних и больших рек и восстановлению его характеристик - Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 80 с.

[7] Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определение их расчетных значений по неоднородным данным- С-Пб., Нестор-История, 2010 г. 162 с.

[8] Рождественский А.В. Оценка точности гидрологических расчетов / А.В.Рождественский, А.В.Ежов, А.В.Сахарюк. - Л., Гидрометеоиздат.- 1990. 276 с.

[9] Болгов М.В. Байесовские оценки расчетных характеристик минимального стока рек в нестационарных условиях/М.В.Болгов, Н.И.Сенцова // М., Метеорология и гидрология. №11. С. 70-80

[10] Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик.- Л., Гидрометеоиздат.1977. 270 с.

[11] Крицкий С.Н. О построении кривой обеспеченности при наличии в составе наблюденных расходов, повторяемость которых выходит за пределы ряда/С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель // Метеорология и гидрология.- 1940. М., №12. С.70-72

[12] Лобанова А.Г. Расчет параметров распределения при наличии нескольких выдающихся значений гидрологической характеристики - Тр. ГГИ.- 1983.- Вып.294. С.23-29

Ключевые слова: основные гидрологические характеристики, климатические факторы, критерии однородности, неоднородность, кривые распределения, расчетные характеристики

Лист регистрации изменений

Номер изменения	Номер страницы				Номер документа (ОРН)	Подпись	Дата	
	измененной	замененной	новой	аннулированной			внесения изменений	введения изменений

gost.e-ecolog.ru