



Государственный
Гидрологический
Институт
hydrology.ru



Методы гидрологических расчетов в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия

Восьмой объединенный метеорологический и гидрологический съезд

Секционное заседание «4»

30-е октября 2024-го года

Санкт-Петербург, КВЦ «Экспофорум»

Лобанова А.Г., Государственный гидрологический институт Росгидромета, Болгов М.В., Институт Водных Проблем РАН

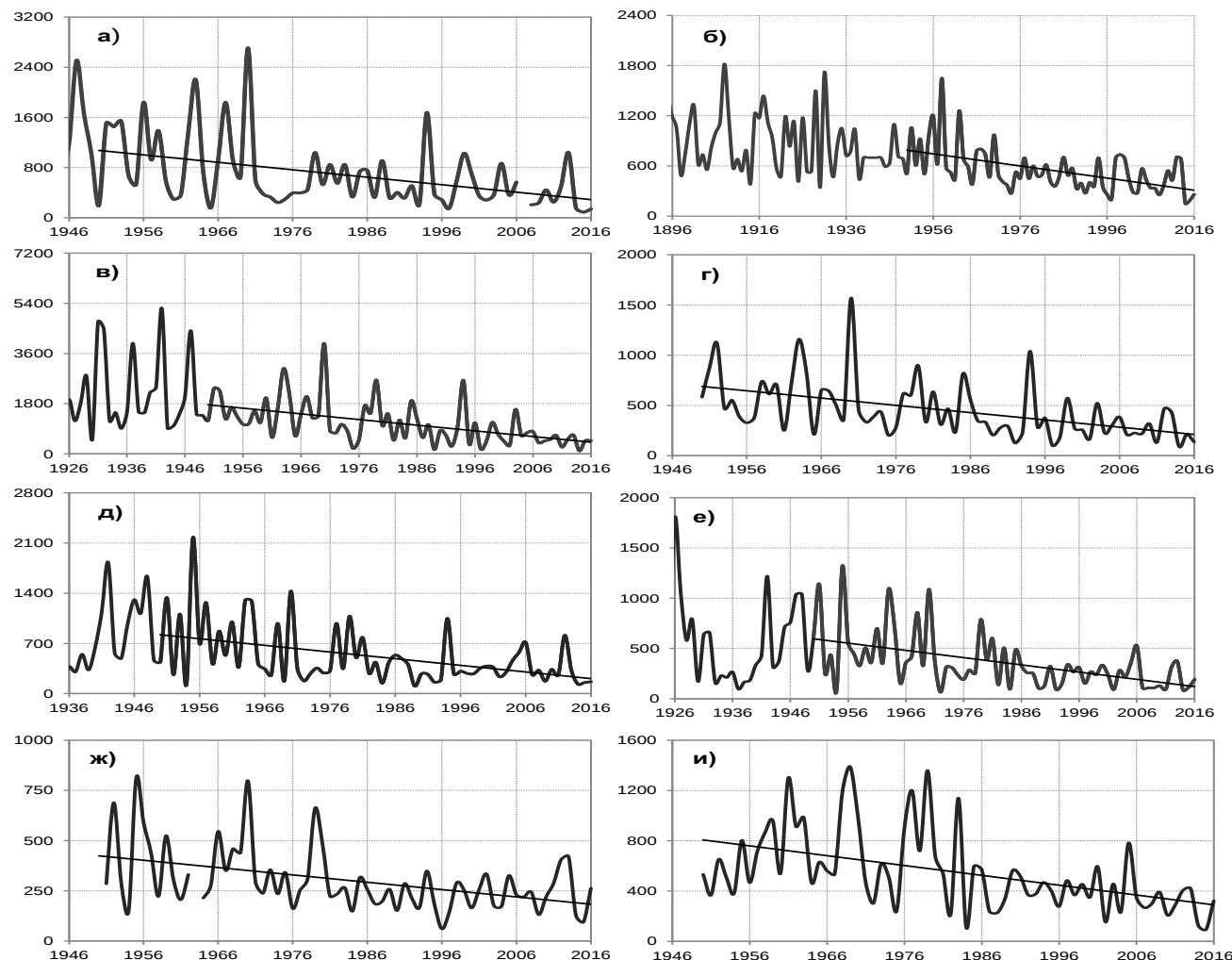


В последние десятилетия 20-го века и по настоящее время на значительной части территории РФ наблюдается устойчивая тенденция потепления климата.

Потепление климата привело к значимой трансформации внутригодового распределения стока и к разнонаправленным изменениям его составляющих. Анализ данных показывает наличие резких изменений отдельных характеристик стока в период с 1970 по 1980 гг., что послужило основной причиной нарушения его однородности. Возникла задача определения расчетных характеристик речного стока по неоднородным рядам наблюдений для 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. Эти изменения вынуждают усложнять генетические и вероятностные модели и методы, применяемые в инженерной гидрологии для определения расчетных характеристик.



Многолетняя динамика максимального стока (м³/с) рек южного и юго-западного районов равнинной части Европейской территории страны

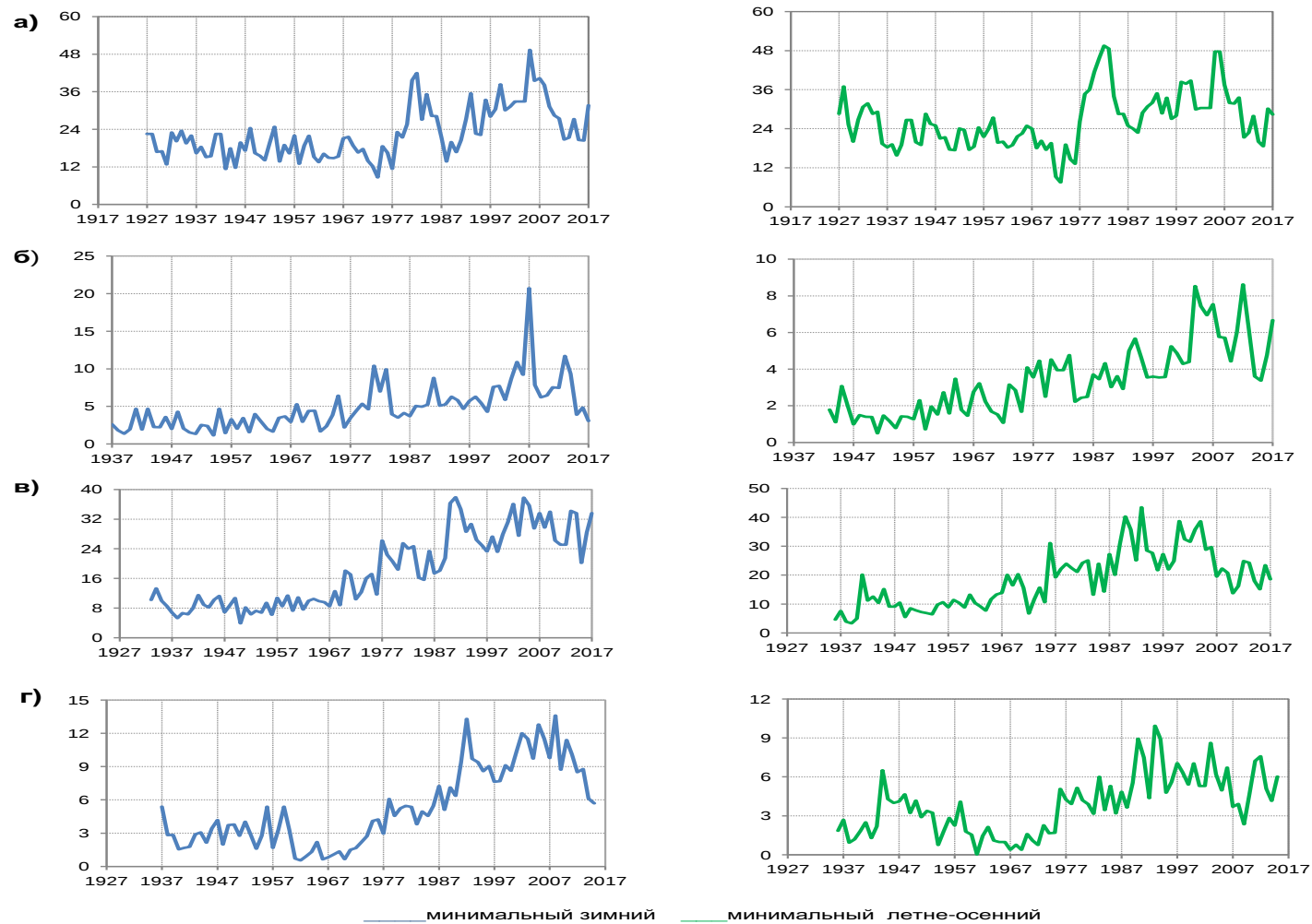


а) р. Десна-г.Брянск, б) р. Днепр-г.Смоленск,
в) р. Ока-г.Белев, г) р.Упа-с.Орлово,
д) р. Хопер-г.Балашов, е) р. Ворона-с.
Чутановка, ж) р. Большая Кокшага-
пгтСанчурск, и) р. Цивиль-д.Тувси

Многолетние изменения минимального зимнего и летне-осеннего стока на ряде рек юга лесной и лесостепной зон ЕТР



Государственный
Гидрологический
Институт
hydrology.ru

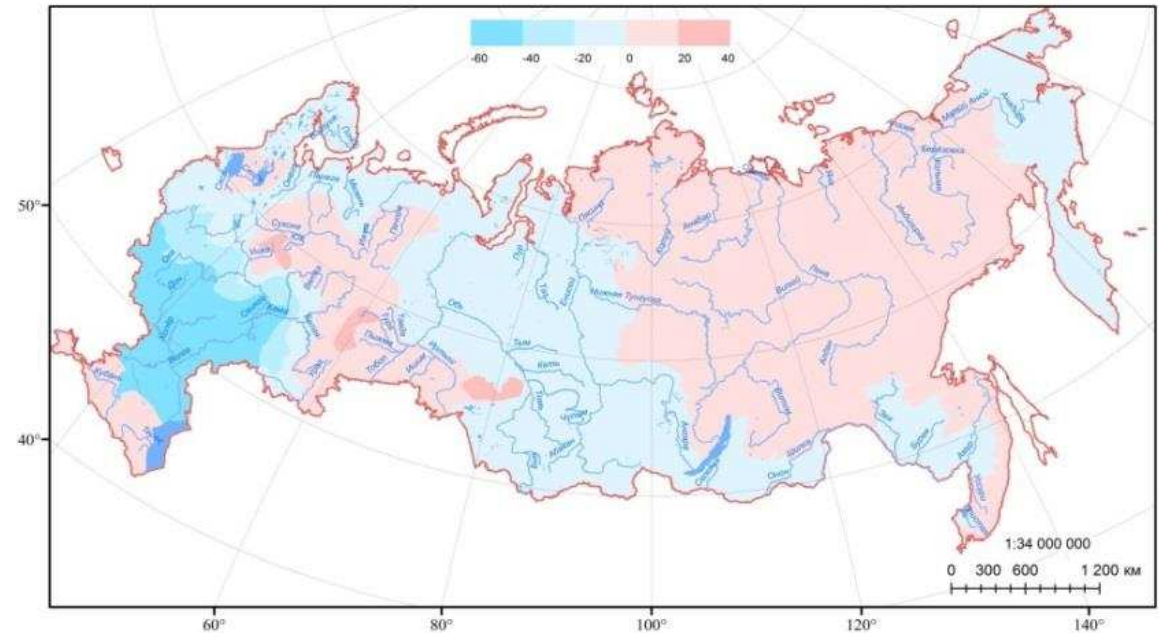
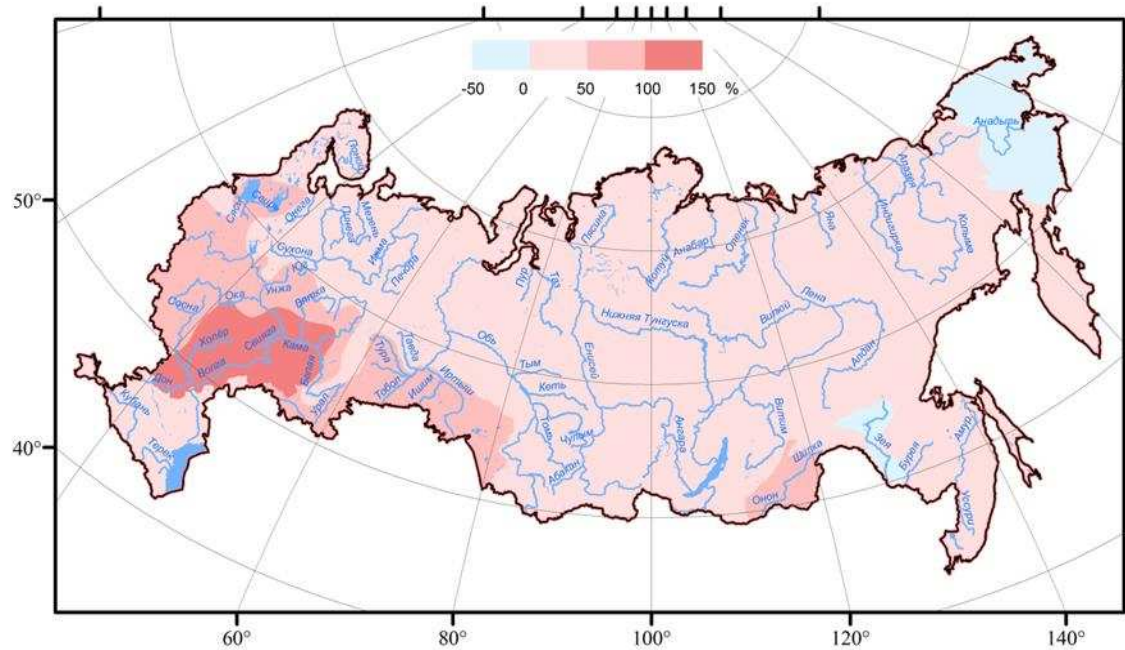


а) р.Сосна-г.Елец,
б)р.Битюг-г.Бобров,
в) р.Хопер-г.Поворино,
г) р. Медведица – пгт. Лысье Горы

Карты-схемы (%) изменения минимального зимнего стока и максимального стока рек РФ в современный период (1979-2015) по отношению к предшествующему (1950-1978)



Государственный
Гидрологический
Институт
hydrology.ru



* Научно-прикладной справочник «Многолетние колебания и изменчивость водных ресурсов и основных характеристик стока рек Российской Федерации», 2021 г.



В случае установления факта нестационарности рядов гидрологических наблюдений по результатам генетического и статистического анализа однородности эмпирические и аналитические кривые распределения (обеспеченности) рассчитываются отдельно для каждой однородной совокупности. Общая кривая обеспеченности гидрологической характеристики определяется как сумма двух или более однородных распределений и далее расчеты осуществляются **по суммарной кривой распределения**, в которой общая обеспеченность каждого члена этого ряда рассчитывается с учетом весовых коэффициентов отдельной однородной совокупности.

Для расчетов речного стока в качестве вероятностного аппарата допускается использовать **байесовскую методологию** решения статистических задач. В отличие от метода «составных кривых обеспеченности», где в окончательном решении учитываются только весовые коэффициенты отдельных однородных совокупностей, при байесовском решении, кроме длины однородных отрезков, учитываются также погрешности выборочных оценок параметров (среднего значения, коэффициента вариации).

Байесовский подход в гидрологии реализуется при решении различных задач, но в основном рассматриваются две постановки: байесовское оценивание параметров и байесовское прогнозирование (получение расчетных или прогнозных распределений гидрологических характеристик).



В некоторых случаях гидрологических расчетов при неоднородности данных возможно **применение усеченных распределений**. В этом случае соответствие эмпирической и аналитической кривых распределения рассматривается в ограниченном диапазоне обеспеченностей, рекомендуемом для определенных задач гидротехнического проектирования.

Методика усеченных кривых разработана в основном для случая усечения в медиане, что не всегда достаточно при ассиметричном распределении характеристик речного стока. Применение усеченных кривых должно основываться на анализе причин нарушения однородности данных наблюдений, и в целом для нестационарных рядов может быть рекомендована только в сочетании с составными кривыми.



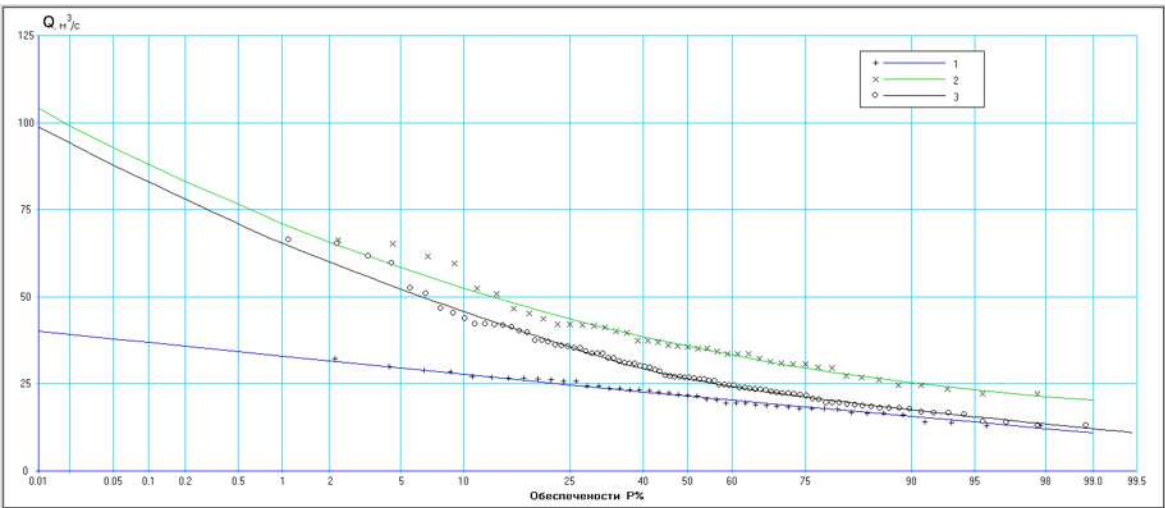
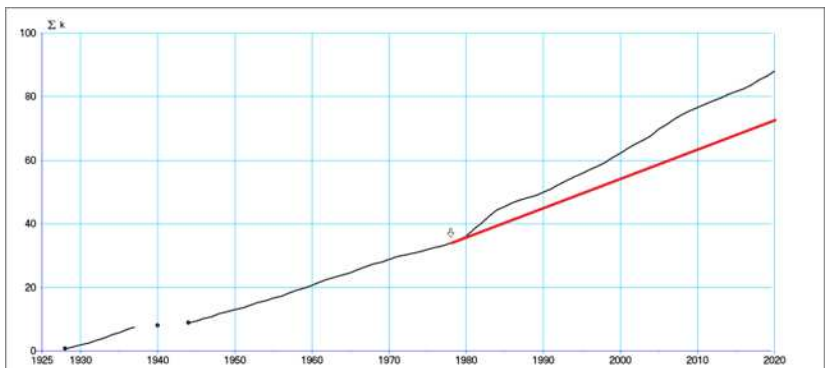
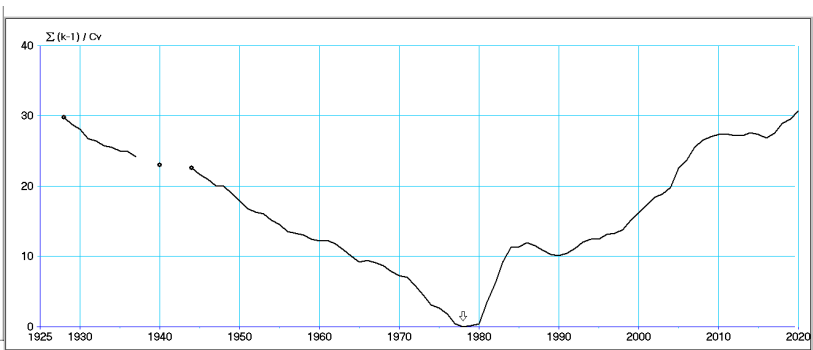
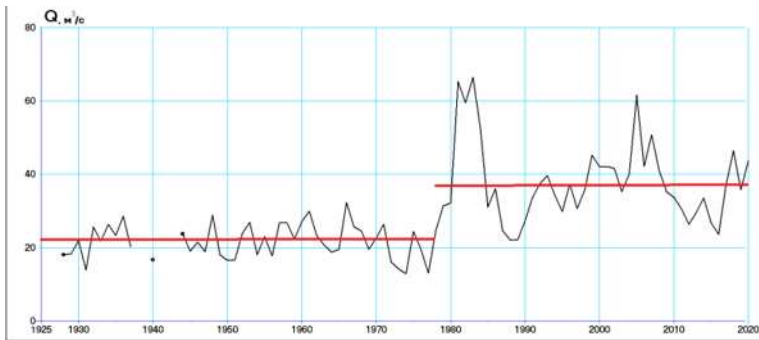
Ярким примером природных катаклизмов в начале XXI столетия являются наводнения в бассейнах р. Кубань (2002 г.), р. Адагум (2012 г.), р. Амур (2013 г.), р. Ия (2019 г.). Главной причиной этих явлений явились аномально высокие дождевые осадки. Анализ многолетних данных наблюдений на гидрологических постах в этих бассейнах, а также исторических сведений о наводнениях в доинструментальный период, позволил оценить повторяемость максимальных расходов воды во время этих паводков примерно, как 1 раз в 200 лет .

Для учета «выдающихся» значений стока рекомендуется использование известных формул Крицкого и Менкеля . Исследование получаемых по этим формулам оценок параметров показало, что они имеют существенно меньшее смещение . В отдельных случаях, требуется определять расчетные гидрологические характеристики, учитывая неоднородность данных наблюдений и «выдающиеся» наблюдения редкой повторяемости. Эта задача была решена в программном комплексе, разработанном в ГГИ.

Методы выделения точек перелома (изменения, нарушение стационарности) и определения расчетных значений за различные однородные периоды



Основные приемы генетического анализа, позволяющие выявить возможную неоднородность характеристик стока: построение хронологических графиков основных характеристик стока; построение разностных и суммарных интегральных кривых подтверждаются статистическими критериями однородности Стьюдента и Фишера



Расчетные параметры минимального зимнего стока р.Сосна-г.Елец, м³/с

Период	среднее	50%	70%	75%	80%	90%	95%
1928-1977	21.6	21.6	19.1	18.4	17.6	15.6	14
1978-2020	37.6	35.8	30.8	29.6	28.3	25.3	23.2
1928-2020	29.4	26.5	22.2	21.2	20.2	17.6	15.6

В соответствии с теоремой Байеса, если известны параметры распределения для двух однородных периодов θ_1 и θ_2 , то апостериорная плотность распределения возможной точки изменения для имеющихся данных наблюдений $x_1, \dots, x_n$ определяется исходя из общей формулы полной вероятности (формулы Байеса):

$$\rho(\theta|x) = \frac{\rho(x|\theta) \cdot \rho_0(\theta)}{\tilde{\rho}(x)}, \quad (1)$$

где $\rho(x|\theta)$ - правдоподобие данных x при заданном значении параметра θ , а $\tilde{\rho}(x)$ вычисляется по уравнению:

$$\tilde{\rho}(x) = \int_{\theta}^1 P(x|\theta) \cdot \rho(\theta) d\theta \quad (2)$$

и играет роль нормирующего множителя.

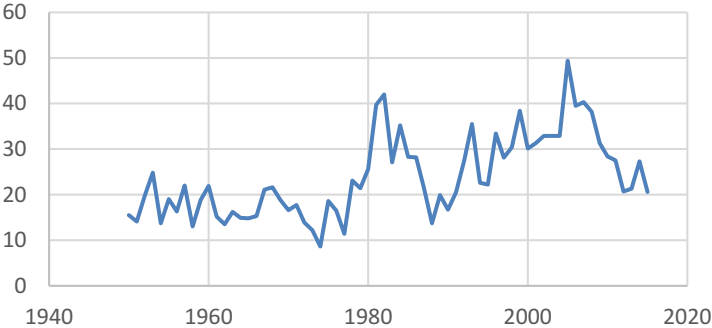
При этом априорная плотность $\rho_0(r)$ задается равномерным распределением:

$$P_0(r) = 1/n, \quad 1 \leq r \leq n \quad (3)$$

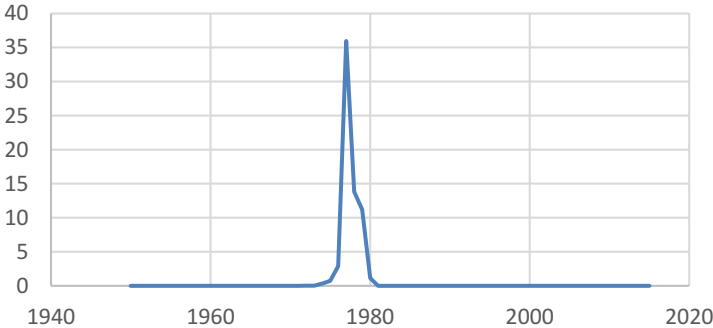
Временной ход (слева) и байесовская оценка плотности распределения точки смены состояния (справа) для нестационарного гидрологического ряда - минимальный сток рек бассейна Дона



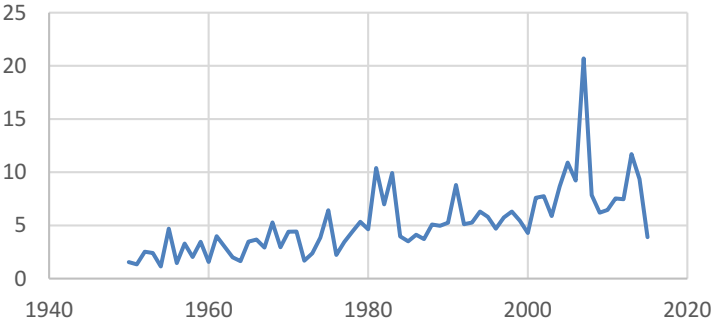
р.Сосна-п.Елец



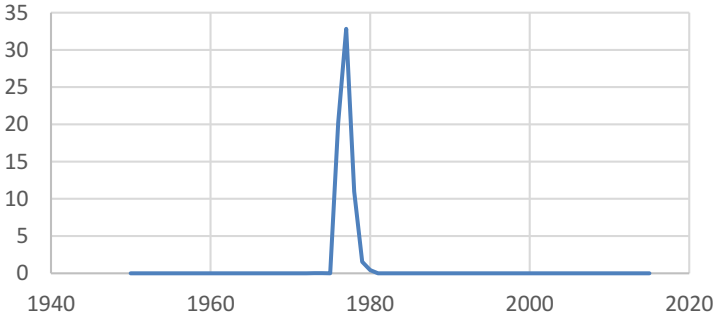
р. Сосна -п.Елец



р. Битюг - п. Бобров



р. Битюг - п.Бобров



Получение распределения параметров неоднородной выборки как параметров смеси распределений

$$\tilde{p}(\theta / x) = \frac{n_1}{N} \cdot \eta(\theta, n_1) + \frac{n_2}{N} p(\theta / x)$$

Получение прогнозного распределения на основе формулы полной вероятности

$$\pi(y) = \int_{\theta} P(y, \gamma, \theta) \cdot \tilde{p}(\theta / x) d\theta$$



СП 33 -101-2003 не был включен в Перечень национальных стандартов и сводов правил Минстроя РФ, и не имел юридического статуса, в связи с чем потребовалась разработка формально нового нормативного документа Свода правил 529.1325800.2023 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик». Утвержден приказом Минстроя РФ от 11.09.2023г., № 654/пр.

В действующем нормативном документе СП 529.1325800.2023 основное решение вопроса обобщения данных гидрологического мониторинга при недостаточности и отсутствии данных наблюдений, возлагается на проектные и изыскательские организации при проведении полевых изысканий . В результате этих работ должны уточняться основные параметры расчетных схем, присущие исследуемому гидрологическому району, определяться расчетные гидрологические характеристики в створах проектирования.

В соответствии с правилами и рекомендациями Минстроя РФ, при создании сводов правил (СП) нельзя делать ссылки на документы рекомендательного характера, поэтому действующий на сегодня, нормативный документ в области инженерной гидрологии, не содержит упоминаний ни о каких документах более «низкого» уровня, и не ссылается на результаты региональных обобщений прошлых лет.



Настоящий СП не исключает проблем научного характера, требующих постоянного «методического» мониторинга. К числу таких проблем относятся:

- Оценка однородности и методов расчета основных гидрологических характеристик по неоднородным данным.
- Исследования по оценке влияния возможных изменений климата на основные расчетные гидрологические характеристики.
- Совершенствование существующих нормативов расчетной обеспеченности, применяемые в практике водохозяйственного проектирования, при определении проектных расходов воды гидротехнических сооружений, определяющих пропускную способность сливного фронта плотин и, следовательно, безопасность гидротехнических сооружений.
- Гидрологическое (включая методологическое) обоснование необходимости регулярного пересчета проектных расходов воды гидротехнических сооружений, определяющих их безопасность.
- Разработка методологии оценки обеспеченности «вероятных максимальных расходов воды дождевых паводков» (ПМФ).
- Байесовские методы оценки параметров распределения, основанные на наблюдаемых значениях гидрологических характеристик и на региональных методах оценки параметров и расчетных квантилей.
- Методология пространственной интерполяции гидрологических характеристик и параметров расчетных схем и формул с использованием географических информационных систем (ГИС-технологий).



Спасибо за внимание