

составляет от 70% до 85% по методам управления и от 60% до 70% по участкам реки по $K_{пз}$ [63].

7. Выполнена оценка воздействия на окружающую среду при загрязнении реки по её длине по фосфору. Предложенный комплекс водоохранных мероприятий позволяет достичь олиготрофной стадии развития для реки по всей длине [34, 36, 100].

8. Экономические оценки показали, что стоимость дополнительной очистки сточных вод на сооружениях составляет не более 1% от суммарных затрат на рекомендованный комплекс водоохранных мероприятий.

5.4. Оценка влияния климатических изменений на безопасность гидротехнических сооружений малых водосборов (Горская В.А., Ильинич В.В., Павлова А.В., Перминов А.В.)

В период семидесятых-восьмидесятых годов прошлого века в стране наблюдалась наивысшая интенсивность строительства мелиоративных объектов, в частности ирригационных прудов и малых водохранилищ с сооружениями в виде плотин 4 класса. При проектировании водосбросных сооружений использовались нормативные документы прошлых лет издания [144, 146]. В этих документах для малых водосборов площадью менее 200 км² применялась так называемая формула предельной интенсивности для расчёта максимальных расходов воды дождевых паводков, в которой основополагающим параметром является максимальные суточные осадки 1% обеспеченности. Следует заметить, что на водосборах такой площади максимальный расход дождевых паводков в большинстве случаев заметно превосходит максимальный расход половодья на территориях Европейской части России, где требуется орошение. Поэтому именно максимальные расходы воды дождевых паводков 1%-ой вероятности превышения ($Q_{1\%}$) чаще всего определяли размеры водосбросных устройств плотин четвёртого класса.

Многие из объектов, спроектированных и построенных в то время эксплуатируются до сих пор, однако, как правило, изменили своё назначение или вообще никак и никем не эксплуатируются, однако вполне могут возобновить своё ирригационное предназначение.

Многочисленные работы как российских, так и зарубежных авторов [58, 119, 206] обратили внимание на повышение максимальных суточных осадков в последние десятилетия в связи с потеплением климата, что объясняется в первую очередь тем, что тёплый воздух может содержать большее количество водяных паров. При этом отмечается, что даже в регионах, где уменьшается количество сезонных и годовых осадков, увеличивается слой штормовых осадков и, в частности, их максимальных суточных величин. Такие факты ставят под сомнение безопасность выше представленных гидротехнических сооружений в современных условиях. Тем не менее, такого рода гипотезу необходимо подтверждать относительно конкретных регионов численными экспериментами. Соответственно, основная цель настоящей работы – проверка гипотезы о повышении максимальных суточных осадков в регионах массового строительства оросительных мелиоративных систем и, в частности, ирригационных прудов в 1970-80 годы прошлого века.

Представленная цель потребовала решения следующих задач:

- выбор сетевых метеостанций Росгидромета с достаточно длинным периодом наблюдений за суточными осадками;
- формирование статистических рядов максимальных суточных осадков;
- оценка тенденций расчётных максимальных суточных осадков во времени;
- определение статистических характеристик максимальных суточных осадков за различные периоды наблюдений.

В работе рассмотрен режим осадков на территориях с интенсивным агрофоном европейской части России. Для решения поставленных задач были выбраны длительные ряды наблюдений за суточными осадками по следующим метеостанциям: Можайск, Плавск, Тамбов, Курск, Ростов, Армавир.

Хронологические данные по годам их максимальных суточных осадков представлены на рисунке 5.9.

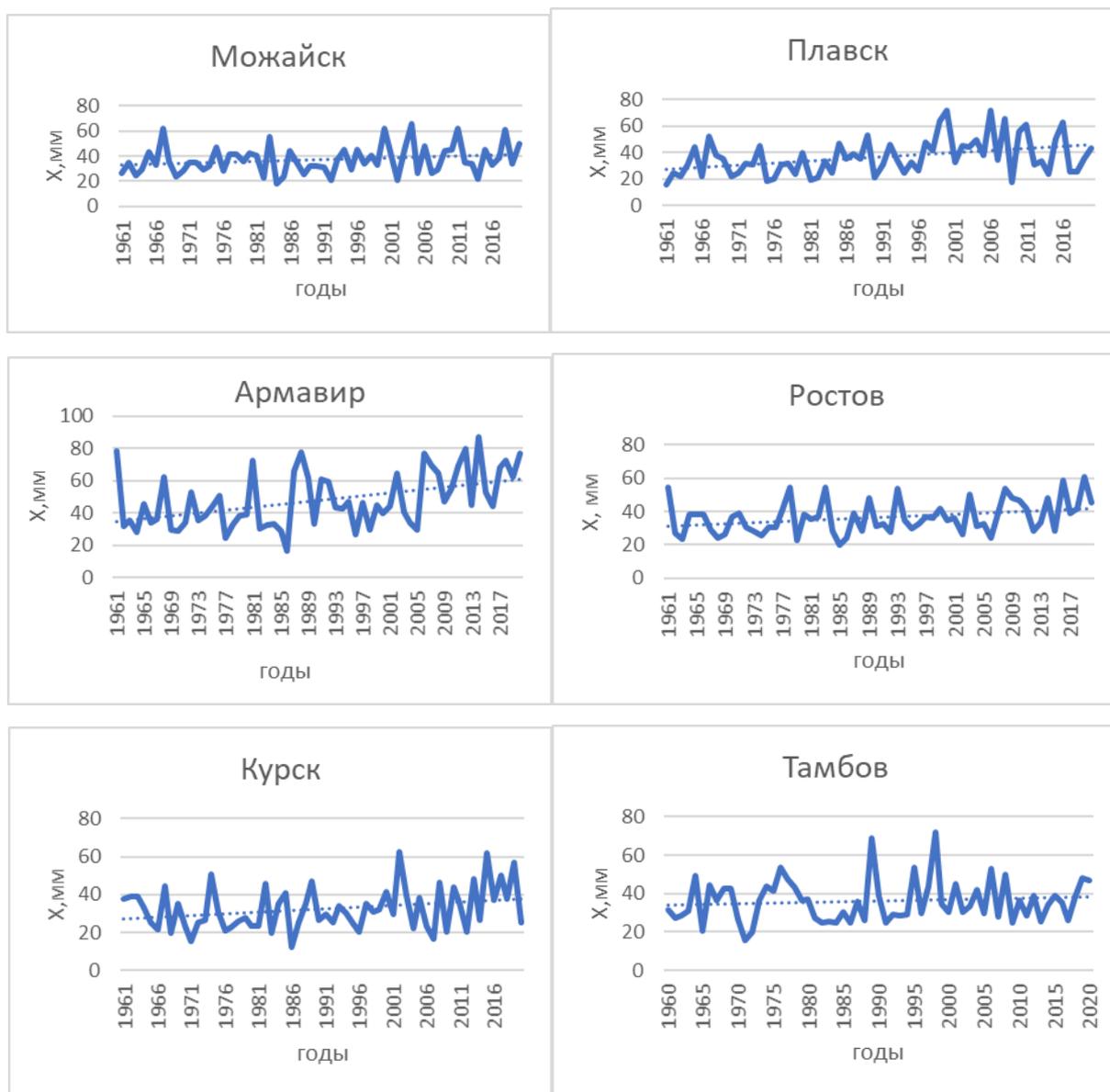


Рисунок 5.9 – Хронологический ряд максимальных суточных осадков за период 1960-2020 гг.

В качестве основных методов исследований применялись методы статистического анализа данных, используемых в гидрометеорологии согласно действующего документа СП 33-101-2003 [144].

Для детального изучения изменений, и проверки гипотезы относительно роста интенсивности атмосферных осадков за последние десятилетия каждый

временной ряд был разделен на два, продолжительностью по 30 лет: с 1961 по 1990 и с 1991 по 2020 гг. Для оценки общей динамики изменения режима ливневых дождей были рассчитаны средние значения максимальных суточных осадков за каждый период (см.табл.) и определены коэффициенты вариации (C_v) и коэффициенты асимметрии (C_s) согласно [119], и с помощью трехпараметрического гамма-распределения С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля найдены значения максимальных суточных осадков 1%- ой обеспеченности - $H_{1\%}$, которые представлены в таблице.

В качестве дополнительного способа проверки гипотезы об увеличении максимальных суточных осадков был использован метод оценки с точки зрения эмпирической вероятности превышения, рассчитанной по формуле (5.17) относительно значений двух равных периодов (период 1 - с 1961 по 1990гг и период 2 - с 1991 по 2020 гг.):

$$P = \frac{m}{n + 1} \cdot 100\% \quad (5.17)$$

где:

m – номер в ряду убывающих значений осадков;

n – количество наблюдений за каждый тридцатилетний период.

На рисунке 5.10 приведены точки эмпирических вероятностей превышения относительно рассмотренных статистических рядов максимальных суточных осадков.

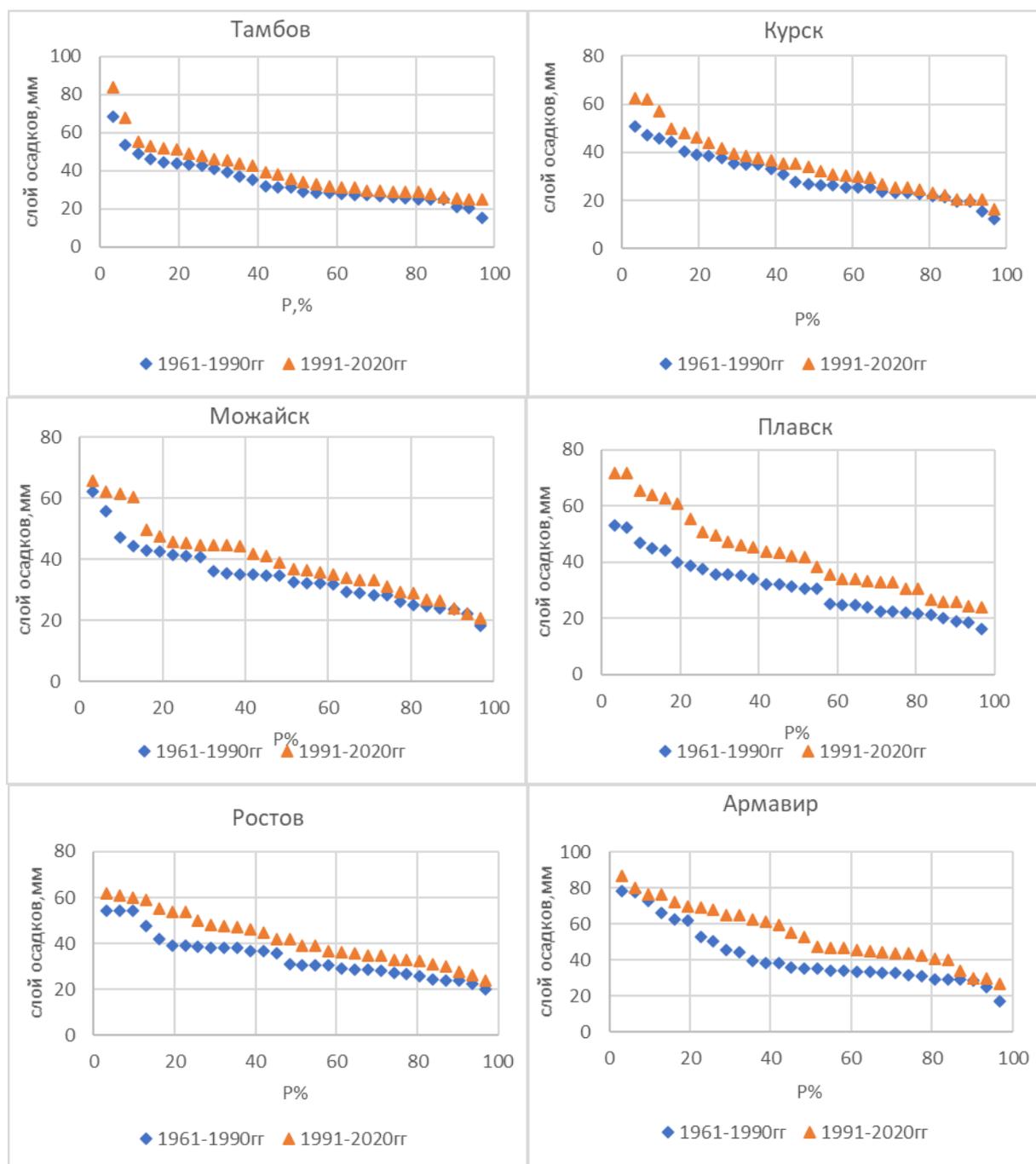


Рисунок 5.10 – Точки эмпирической вероятности превышения максимальных суточных осадков относительно двух рядов наблюдений (точки первого ряда представлены ромбами, а второго – треугольниками)

С представленных графиков (рисунок 5.10) были сняты значения максимальных суточных осадков 5% обеспеченности, которые также приведены в таблице 5.5.

Расчетные параметры максимальных суточных осадков: средние значения, вероятности превышения 1% и 5% относительно сравниваемых статистических рядов

Метеостанция	X_{cp} (1961-1990)	X_{cp} (1991-2020)	$X_{p=1\%}$ (1961-1990)	$X_{p=1\%}$ (1991-2020)	$X_{p=5\%}$ (1960-1990)	$X_{p=5\%}$ (1991-2020)
Ростов	34,18	34,74	61,2	86,85	54,5	61,5
Армавир	41,90	54,31	77,2	87,1	78,1	81,2
Можайск	34,58	39,43	62,2	69,3	51,9	63,2
Плавск	31,28	42,32	56,9	88,4	51,5	71,8
Курск	33,70	36,26	52,4	63,1	49,5	62,1
Тамбов	35,02	36,95	61,6	65,03	61,2	70,1

На приведенных графиках (рисунок 5.9) линейный тренд очевидно показывает рост количества максимальных суточных осадков за весь период с 1960 по 2020 годы. Наиболее интенсивно осадки увеличились на метеостанциях Плавск, Можайск и Армавир.

Из рисунка 5.10 из сравнения точек эмпирических обеспеченностей видно, что большинство точек второго ряда располагаются выше, чем точки первого ряда. Такой факт, свидетельствует об увеличении значений осадков различной обеспеченности во времени.

Результаты расчётов в таблице показывают, что рассмотренные величины осадков чувствительно везде выше у второго тридцатилетнего ряда, а максимальными суточные осадки с вероятностью превышения 1% в последние десятилетия выросли настолько, что их различие составляет более 10%, то есть выше допустимой статистической погрешности расчетных гидрологических характеристик. Таким образом используемые при проектировании сооружений значения статистически значимо изменились, и не могут обеспечить необходимую безопасность при эксплуатации.

Проведенный статистический анализ данных наблюдений максимальных суточных осадков подтверждает гипотезу об их увеличении за последние десятилетия. Результаты исследований показали, что гидротехнические сооружения, построенные в прошлом веке на малых водосборах, утратили изначально установленную безопасность для своего класса сооружений.

В связи с наблюдаемой тенденцией изменения климата необходимо обновить нормативно-техническую документацию, которая используется при определении осадков заданной обеспеченности так как на данный момент в действующем СП по определению основных гидрологических характеристик [144] используется карта осадков 1%-ой обеспеченности, которая была актуализирована в 1984 году, тем самым приводя к существенному уменьшению реального на сегодня значения максимальных суточных осадков.

Для ирригационных малых водохранилищ и прудов подобные изменения климата при значимом росте максимальных суточных осадков приводит к необходимости уменьшения полезного объема водохранилища, за счёт которого необходимо увеличить его противопаводковый объём. То есть, сохранить безопасность гидротехнических характеристик за счёт понижения надёжности водообеспечения сельского хозяйства.