

На правах рукописи

Гаврилова Светлана Юрьевна

**УСТРАНЕНИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ АТМОСФЕРНЫХ
ОСАДКОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ИЗМЕНЕНИЙ РЕЖИМА
УВЛАЖНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ**

Специальность 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

**Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата географических наук**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2010

Работа выполнена в государственном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»

Научный руководитель: кандидат географических наук
Кондратюк Владимир Иосифович

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор
Кобышева Нина Владимировна

кандидат физико-математических наук
Коновалов Дмитрий Алексеевич

Ведущая организация: Российский государственный
гидрометеорологический университет (РГГМУ)

Защита состоится 28 апреля 2010 года в 14 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д327.005.01 в государственном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» по адресу: 194021 Санкт-Петербург, ул. Карбышева д. 7.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке государственного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»

Автореферат разослан 25 марта 2010 г.

Ученый секретарь совета по защите докторских и кандидатских диссертаций,

доктор географических наук



А.В. Мещерская

Общая характеристика работы

Актуальность работы

В современных условиях, с развитием научных и прикладных исследований в области формирования и изменения климата, большое значение приобретает надежность и достоверность временных климатологических рядов и, в частности, - рядов количества атмосферных осадков. Эмпирический анализ данных об изменении климата опирается на результаты непосредственных приземных наблюдений за метеорологическими величинами. В последние годы в национальных и международных докладах и технических документах, посвященных изменению климата, неоднократно подчеркивается наличие неопределенностей в количественных оценках изменения режима увлажнения. Не менее важны однородные данные о количестве осадков при решении разнообразных практических задач: водохозяйственных расчетах, оценках составляющих водного баланса, районировании территории в целях сельского хозяйства.

Количество атмосферных осадков, измеренное с помощью любого осадкомерного прибора, как правило, меньше, чем количество действительно выпавших осадков, вследствие систематических ошибок их измерения. По оценкам многих исследований количество жидких осадков систематически преуменьшается на 10-15% от измеренной суммы для дождемера с защитой Нифера и осадкомера конструкции Третьякова, а количество твердых и смешанных осадков - на 30-60% для осадкомера и более чем на 50 % для дождемера в зависимости от метеорологических условий.

Основными причинами нарушения климатологической однородности временных рядов осадков за период инструментальных наблюдений для территории России являются:

1) смена стандартных осадкомерных приборов с разными систематическими погрешностями - в первой половине 50-х годов на всей осадкомерной сети бывшего СССР была произведена замена дождемера с защитой Нифера на осадкомер конструкции Третьякова;

2) изменения методик выполнения измерений - введение с 1966 г. в измеренные осадки поправки на смачивание осадкосборного сосуда;

3) изменения числа сроков - в 1966 г. и в 1986 г. на большинстве станций изменилось число сроков измерения осадков в сутки;

4) изменение во времени условий местоположения приборов вследствие переноса или зарастания метеорологической площадки.

Таким образом, для восстановления однородности временных рядов осадков необходимо исключить влияние всех перечисленных причин. Исследования 50-80-х годов XX века, проводившиеся на базе ГГО, ГГИ и ААНИИ, позволили разработать методику корректировки результатов измерения осадков на уровне средних многолетних месячных и годовых сумм. Однако практические и научные задачи современности выявили потребность в получении однородных временных рядов атмосферных осадков с более высоким временным разрешением (сроки, сутки).

В последние годы специалистами ГГО и ГГИ была разработана усовершенствованная методика автоматизированной корректировки суточных значений осадков, измеренных осадкомером Третьякова. Применение данной методики решает вопрос о получении однородных временных рядов количества осадков за период наблюдений по осадкомеру. Для периода наблюдений по дождемеру с защитой Нифера подобная методика отсутствовала, хотя к

настоящему времени накоплен необходимый экспериментальный материал для ее разработки.

Цели и задачи работы

Основной целью работы является создание методики автоматизированной корректировки суточных сумм осадков, измеренных дождемером с защитой Нифера, и получение однородных временных рядов осадков с устраненными систематическими погрешностями их измерения суточного, месячного, сезонного и годового разрешения за период инструментальных наблюдений по станциям России.

В соответствии с поставленными целями в работе решались следующие задачи:

- Разработка методики автоматизированной корректировки суточных сумм осадков, измеренных дождемером с защитой Нифера;
- Подготовка электронного архива метаданных, необходимых для определения расчетных параметров корректировки;
- Создание электронного архива скорректированных суточных сумм осадков за период с 1936 по 2000 г. по 100 станциям России с помощью объединенной методики автоматизированной корректировки суточных сумм осадков, измеренных дождемером и осадкомером;
- Получение и анализ основных характеристик климатического режима осадков на территории России по данным однородных временных рядов количества атмосферных осадков;
- Определение тенденций временных изменений количества осадков в разных регионах РФ с оценкой статистической значимости полученных трендов.

Научная новизна работы

Разработана новая методика корректировки количества осадков, измеренных дождемером с защитой Нифера, с использованием в качестве эталона сравнения сертифицированного международного эталона измерения осадков - Валдайской контрольной системы (ВКС). Данная методика в едином комплексе с существующей методикой корректировки осадков, измеренных осадкомером конструкции Третьякова, позволила впервые получить за выбранный период значения количества осадков, свободные от основных систематических погрешностей обоих приборов. По этим данным впервые получены уточненные характеристики пространственного и временного распределения осадков на территории России.

Научная и практическая значимость работы

Решена задача о получении однородных временных рядов действительного количества осадков за весь объединенный период дождемерных и осадкомерных наблюдений суточного разрешения, что в свою очередь позволяет рассчитать климатические характеристики количества атмосферных осадков различного временного разрешения.

Полученный архив рядов атмосферных осадков для станций РФ, расположенных в различных физико-географических и климатических условиях позволил определить достоверные количественные оценки изменения режима увлажнения на территории России.

Достоверность результатов

Достоверность полученных результатов обеспечена корректным учетом систематических погрешностей осадкомерных приборов. Достоверность эмпирических параметров основана на использовании в качестве эталона

сравнения сертифицированного международного эталона измерения осадков – ВКС. Достоверность оценок тенденций изменения режима увлажнения на территории России подтверждается статистической обеспеченностью используемого фактического материала.

На защиту выносятся:

- Разработанная методика корректировки результатов измерения количества осадков по дождемеру с защитой Нифера, позволяет учесть основные систематические погрешности их измерения. В отличие от предыдущих исследований с помощью новой методики корректировки в едином комплексе с существующей методикой корректировки осадков, измеренных осадкомером, получены временные ряды действительного количества атмосферных осадков на уровне их суточных сумм.

- Уточненные климатические характеристики количества атмосферных осадков различного временного разрешения для исследуемых станций.

- Количественные оценки изменения осадков на территории России за период с 1936 по 2000 г., полученные на основе однородных временных рядов количества осадков.

Личный вклад автора в диссертационную работу

Личный вклад автора заключается в проведении численных экспериментов с целью определения аэродинамической погрешности дождемера с защитой Нифера. Диссертантом создан электронный архив метаданных, необходимых для определения расчетных параметров корректировки. Получен архив скорректированных суточных сумм осадков за период с 1936 по 2000 г. по исследуемым станциям России, рассчитаны климатические характеристики количества осадков и проведена оценка влияния корректировки на их численные значения. Автором проанализировано пространственное распределение временных изменений количества осадков по территории России, сформулированы выводы и определены направления дальнейших исследований.

Публикации и апробация работы

Основные результаты и отдельные положения исследования были доложены на второй конференции молодых ученых национальных гидрометслужб государств-участников СНГ «Новые методы и технологии в гидрометеорологии», на семинарах методического отдела ГГО, на объединенном семинаре отделов ГГО, на ежегодных курсах повышения квалификации специалистов-метеорологов. По теме диссертации подготовлено 6 печатных, из них 3 опубликованы и 2 находятся в печати в журнале «Метеорология и гидрология», рекомендуемом ВАК.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Объем работы составляет 111 страниц, включая 24 рисунка, 12 таблиц и приложения. Список источников литературы включает 102 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во введении диссертационной работы обоснованы актуальность темы исследования, цель и содержание поставленных задач, отражены теоретические и методологические основы, предмет исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость результатов работы.

В первой главе представлен обзор работ по исследованиям в области физического обоснования и количественных значений систематических погрешностей стандартных сетевых осадкомерных приборов. Проведен анализ существующих методик корректировки дождемерных и осадкомерных наблюдений. Приведены результаты Международных взаимосравнений осадкомерных приборов, а также описание ВКС, признанной Комитетом по приборам и методам измерений ВМО международным эталоном измерения осадков. Особое внимание уделено структуре современной полуэмпирической модели корректировки данных осадкомерных наблюдений (модель В.С. Голубева - Э.Г. Богдановой).

Во второй главе приводится обоснование, описание и оценка достоверности использования методики корректировки результатов измерения осадков дождемером с защитой Нифера на уровне суточных сумм. Предлагаемая методика позволяет учесть все основные систематические погрешности дождемера и, следовательно, впервые получить однородные временные ряды скорректированных осадков за многолетний период их измерения дождемером с защитой Нифера и осадкомером Третьякова.

Раздел 1. К числу основных систематических погрешностей дождемера относятся: аэродинамическая погрешность (ветровой недоучёт, включая выдувание снега из приемного сосуда при метелях.), потери осадков на смачивание внутренней поверхности осадкосборника, искажение в результате процессов испарения собранных осадков из прибора и конденсации на внутренней его поверхности.

В основе модели корректировки суточных значений количества осадков, измеренных дождемером с защитой Нифера, используются эмпирические связи между отдельными компонентами систематической погрешности и метеорологическими параметрами. Структура модели, которая лежит в основе применяемых на практике методов корректировки регулярных наблюдений за осадками (в том числе и для осадкомера конструкции Третьякова), для дождемера представлена уравнением:

$$P = K_D (P''_D + \Delta P), \quad (1)$$

где P – действительное количество выпавших осадков; K_D – коэффициент, учитывающий влияние аэродинамических факторов на результат измерения осадков (аэродинамический коэффициент дождемера); P''_D – количество осадков, измеренное по измерительному стакану; ΔP – поправка, компенсирующая эффект воздействия процессов испарения, конденсации и смачивания внутренней поверхности дождемера при каждом измерении осадков, в том числе при «следах».

Раздел 2. Величина суммарной погрешности, возникающей за счет потерь на смачивание, испарение и процессов конденсации на поверхности осадкосборного сосуда, рассчитывается по формулам, предложенным В.С. Голубевым для осадкомера Третьякова, где она определяется в зависимости от вида осадков и относительной влажности воздуха в день с осадками (r , %):

- в случае выпадения жидких осадков

$$\Delta P = 0.069 \ln(100 - r) + 0.009, \text{ мм} \quad \text{при } r < 95\%,$$

$$\Delta P = 0.1, \text{ мм} \quad \text{при } r \geq 95\%; \quad (2)$$

- в случае выпадения твердых осадков

$$\Delta P = 0.097 \ln(100 - r) - 0.150, \text{ мм} \quad \text{при } r < 95\%,$$

$$\Delta P = - 0.2, \text{ мм} \quad \text{при } r \geq 95\%; \quad (3)$$

- в случае выпадения смешанных осадков: мокрого снега, ливневого мокрого снега, попеременного выпадения жидких и твердых осадков за период между сроками измерения осадков

$$\begin{aligned} \Delta P &= 0.158 \ln(100 - r) - 0.449, \text{ мм} && \text{при } r < 95\%, \\ \Delta P &= -0.2, \text{ мм} && \text{при } r \geq 95\% \end{aligned} \quad (4)$$

Правомочность использования идентичных формул для осадкомера и дождемера, основана на выводах, полученных предыдущими исследованиями о том, что при отсутствии ветра дождемер и осадкомер дают практически одинаковые показания для всех видов осадков.

Раздел 3. Для определения аэродинамической погрешности дождемера (K_D) при измерении твердых осадков были использованы результаты параллельных наблюдений по дождемеру и ВКС на Валдайском осадкомерном полигоне за периоды с 1973 по 1979 г. и с 1988 по 2002 г. Одновременно с количеством осадков проводились измерения скорости ветра, температуры и влажности воздуха в стандартные метеорологические сроки.

Из полученного банка данных были выбраны случаи с выпадением только твердых осадков. Дни с метелями в выборку не включались. В конечной выборке получено 1176 случаев с выпадением твердых осадков. За период сравнения общая сумма твердых осадков, измеренных по ВКС, составила 1641 мм, а по дождемеру – 872 мм. За период параллельных наблюдений недоучет твердых осадков по дождемеру составил 47 % от данных ВКС.

Расчет аэродинамического коэффициента в зависимости от скорости ветра на высоте прибора производился по следующей схеме. Первоначально вычислялись значения K_{iD} для каждого случая измерения осадков по формуле:

$$K_{iD} = \frac{P_{iВКС}'' + \Delta P_i}{P_{iD}'' + \Delta P_i}, \quad (5)$$

где $P_{iВКС}''$ и P_{iD}'' - измеренное количество осадков для i -го случая по ВКС и дождемеру соответственно; ΔP_i - погрешность за счет смачивания, испарения и конденсации для i -го случая измерения твердых осадков (формула 3).

Затем в каждом интервале скоростей ветра, через 1 м/с рассчитывалась средняя величина K_D по формуле:

$$K_D = \frac{\sum_{i=1}^n K_{iD}}{n}, \quad (6)$$

где n – число точек в каждом интервале скоростей ветра.

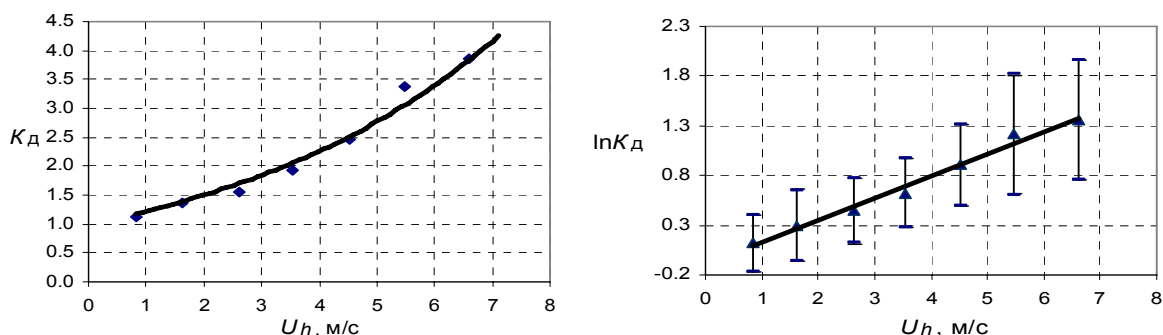


Рис. 1 Зависимость аэродинамического коэффициента K_D для твердых осадков от скорости ветра U_h в прямоугольных (а) и полулогарифмических (б) координатах.

Полученная зависимость K_D от скорости ветра U_h представлена на рис. 1, где она показана в прямоугольных (а) и полулогарифмических (б) координатах. Зависимость K_D от U_h описывается формулой:

$$K_D = e^{0.2037U_h}, \quad (7)$$

где U_h – скорость ветра на высоте приемной поверхности дождемера (м/с). Коэффициент корреляции между $\ln K_D$ и U_h равен 0.993.

Корректировка измеренных дождемером жидких осадков производится в полном соответствии с методикой корректировки данных осадкомера Третьякова. Поскольку при измерении жидких осадков осадкомер и дождемер дают практически одинаковые результаты, можно считать, что в этом случае аэродинамическая погрешность дождемера и осадкомера одинаковы.

Определение аэродинамического коэффициента смешанных осадков основано на практически линейной связи доли твердых и жидких осадков в их общем суточном количестве со значением температуры воздуха в период выпадения смешанных осадков. На рис. 2 представлены кривые зависимости K_D от скорости ветра на высоте приемной поверхности дождемера для твердых и жидких осадков. Значения K_D для смешанных осадков располагаются в зоне между этими кривыми. В данной работе для случаев со смешанными осадками применен метод линейной интерполяции значений K_D от жидких осадков к твердым в зависимости от температуры воздуха во время их выпадения. Такой же подход использован ранее и для осадкомера Третьякова.

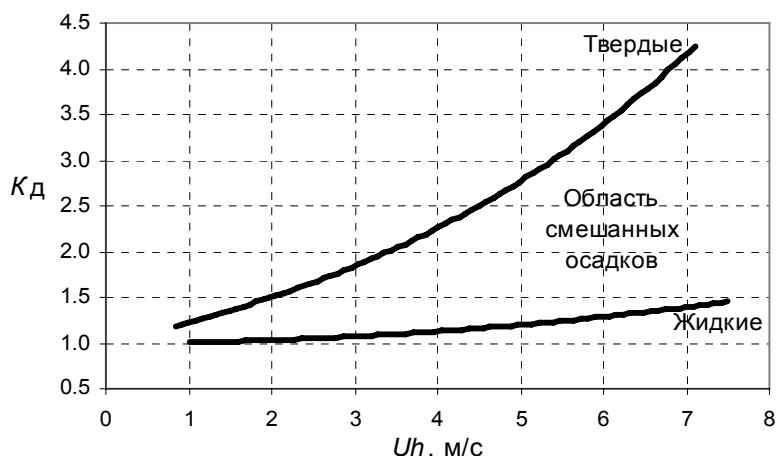


Рис. 2 Зависимости K_D от скорости ветра на высоте приемной поверхности дождемера U_h для осадков разных видов.

Для решения проблемы полного выдувания твердых осадков из осадкосборного сосуда дождемера при наличии метели и скоростях ветра на высоте ветроизмерительного прибора более 10 м/с, был использован подход, предложенный и обоснованный еще Л.Р. Струзером и Н.Н. Брызгиным, о том, что действительная интенсивность выпадающих осадков во время метелей на полярных станциях меняется мало и может считаться величиной постоянной, близкой к средней многолетней месячной интенсивности осадков в данном регионе. Поэтому при скоростях ветра выше 10 м/с, расчет исправленных осадков осуществлялся по их средней многолетней месячной интенсивности для данной станции (с учетом дней, когда скорость ветра на высоте ветроизмерительного прибора не превышает 10 м/с), умноженной на

фактическую продолжительность осадков с метелью. Измеренные осадки в таких случаях в расчет не принимаются.

Полученные зависимости положены в основу методики корректировки суточных сумм осадков, измеренных дождемером. Разработанная методика корректировки измеренных суточных значений осадков дождемером с защитой Нифера позволяет оценить действительное количество осадков, поступивших из облаков на поверхность земли в пункте наблюдений, путем учета систематических погрешностей, вызванных аэродинамическими свойствами осадкомера, процессами испарения, конденсации и смачивания в осадкосборнике.

Третья глава посвящена анализу результатов корректировки рядов измеренных дождемером осадков с помощью разработанной методики, а также рассмотрению влияния результатов корректировки на изменение климатических характеристик количества осадков отдельно за дождемерный период наблюдений и за объединенный период дождемерных и осадкомерных наблюдений.

Раздел 1 содержит описание архивов исходных метеорологических данных, а также методики определения характеристик защищенности установки осадкомерного прибора и расчета скорости ветра на уровне приемной поверхности дождемера.

Ниже приводится перечень сведений, необходимых для получения расчетных параметров корректировки осадков, измеренных дождемером.

Данные о пункте наблюдений: высота метеорологической площадки над уровнем моря (H , м); высота приемной поверхности дождемера над поверхностью земли (h , м); высота ветроизмерительного прибора над поверхностью земли (H_{ϕ} , м); угол закрытости горизонта по 16 румбам кругового обзора ($\alpha(A^{\circ})$).

Данные о метеорологических характеристиках в сроки наблюдений: измеренное количество осадков (P'' , мм); скорость и направление ветра (U_H , м/с и A , румб); температура воздуха (t_a , $^{\circ}\text{C}$); парциальное давление водяного пара (e_a , гПа); относительная влажность воздуха (r_a , %); атмосферное давление на высоте станции (P_a , гПа); высота снежного покрова на метеоплощадке (h_s , м); вид и продолжительность атмосферных явлений.

Данные о пункте наблюдений содержатся в Технических делах станций и частично в Климатологическом справочнике СССР ч. 1. Сведения о метеорологических характеристиках содержатся в материалах ежедневных метеорологических наблюдений. В работе в качестве исходного материала был использован архив ВНИИГМИ-МЦД результатов 4-х и 8-ми срочных метеорологических наблюдений по 153 станциям международного обмена на территории России за период 1936-2000 гг. Из архива ВНИИГМИ-МЦД для исследований были отобраны результаты наблюдений за атмосферными осадками по 100 станциям России, которые соответствовали выдвигаемым требованиям. Пункты наблюдений выбирались по принципу равномерности их распределения по территории страны, полноты отражения различных климатических условий, достоверности результатов наблюдений, длины ряда наблюдений и минимального количества пропусков данных.

Для определения коэффициента K_d , учитывающего влияние аэродинамических факторов на результат измерения осадков, необходимо иметь значение скорости ветра во время осадков на высоте приемной поверхности дождемера (U_h). Однако непосредственные измерения U_h в

программу стандартных наблюдений на метеорологических станциях не входят. Для определения этой величины приходится использовать данные ветроизмерительных приборов на той высоте, которая принята в качестве стандартной для измерения скорости ветра. В годы наблюдений по дождемеру на исследуемых станциях высота установки флюгера варьировала в пределах от 8 до 18 м. Расчет U_h производился по логарифмическому закону изменения скорости ветра с высотой. Для учета влияния защищенности установки дождемера, выраженной через угол закрытости горизонта $\alpha(A)$, при расчете скорости ветра на высоте его приемной поверхности в работе используется формула Е.А.Федоровой. В настоящее время данная зависимость используется и в отечественных и в зарубежных исследованиях при расчетах скорости ветра на высоте осадкомерного прибора по данным ветроизмерительного прибора.

Величина угла закрытости горизонта $\alpha(A)$ определялась для каждого из 16-ти румбов (азимутов) по графику закрытости горизонта метеорологической площадки для соответствующего временного периода или рассчитывалась по словесному описанию ближайшего (до 300 м) окружения площадки.

В результате расчетов был создан электронный архив значений $\alpha(A)$ по 16 румбам закрытости горизонта для каждой из 100 станций за период с 1936 по 2000 г. с учетом всех временных изменений в ближайшем окружении осадкомерных приборов в хронологическом порядке. Данный архив может быть использован не только для расчетов аэродинамической погрешности измерения осадков, но также при климатологических исследованиях рядов других метеорологических характеристик и оценке репрезентативности пункта наблюдений.

Раздел 2. После получения расчетных параметров для корректировки, на основании вышеизложенной методики были откорректированы результаты наблюдений за осадками, измеренными дождемером, за период с 1936 г. до года замены дождемера на осадкомер (50-е годы) по 100 станциям.

Результаты корректировки представлены в табл. 1 по отдельным станциям: средние многолетние годовые значения измеренных (P'') и исправленных (P) сумм осадков, их разность ($P - P''$) и отношение (P/P''); значения рассчитанных погрешностей за счет смачивания, испарения и конденсации (ΔP) и ветрового недоучета осадков ($\delta_U = P - P'' - \Delta P$); средние годовые значения температуры воздуха (T) и скорости ветра на высоте ветроизмерительного прибора (U_H) в дни с осадками, а также характеристика защищенности установки дождемера (m) за период дождемерных наблюдений. Выбранные станции располагаются в разных физико-географических и климатических условиях, и имеют различную защищенность места установки осадкомерного прибора.

Таблица 1

Результаты корректировки сумм осадков за дождемерный период наблюдений

Станция	Период наблюдений	P''	ΔP	δ_U	P	$P - P''$	P/P''	$T, \text{ }^\circ\text{C}$	$U_H, \text{ м/с}$	\bar{m}
		мм								
Мурманск	1936-1950	296.3	39.9	111.4	447.6	151.3	1.51	0.5	5.7	1.00
Вологда	1938-1953	423.9	39.0	105.9	568.8	144.9	1.34	2.5	5.3	0.96
Астрахань	1936-1952	170.8	27.4	29.7	227.9	57.2	1.33	9.5	4.6	0.93
Самара	1936-1948	390.9	32.5	90.5	501.4	123.8	1.33	3.9	4.9	0.98
Пермь	1936-1951	458.3	41.8	102.1	602.2	143.9	1.31	1.7	4.1	0.98
Диксон	1936-1952	220.0	19.4	160.8	400.2	180.2	1.82	-9.7	8.1	0.99
Петропавл.маяк	1936-1950	596.0	16.5	343.1	955.6	359.6	1.60	1.6	7.1	1.00
Шмидта, мыс	1940-1951	199.7	9.0	104.3	306.8	112.5	1.58	-11.6	6.1	0.98
Врангеля, остров	1936, 1941-1952	122.8	12.9	77.7	213.5	90.7	1.74	-10.7	5.6	0.94

Годовые значения суммарной погрешности измерения осадков изменяются существенно, как в абсолютном ($P-P''$), так и в относительном (P/P'') выражении. Максимальные разности между исправленными и измеренными годовыми осадками наблюдаются на станциях Петропавловский маяк (359.6 мм) и Диксон (180.2 мм). Такие различия, прежде всего, связаны с большими скоростями ветра и открытым местоположением станций, а следовательно и максимальными поправками на ветровой недоучет (для Петропавловского маяка $\delta_U=343.1$ мм в среднем за год, а для Диксона $\delta_U=160.8$ мм). Кроме того, на станции Петропавловский маяк при большом годовом количестве выпадающих осадков ($P''=596.0$ мм, $P=955.6$ мм) наблюдается осенний максимум их годового хода, обусловленный активной циклонической деятельностью на фоне сравнительно высоких температур и штормовых ветров (до 40 м/с). При этом выпадают преимущественно смешанные осадки, измеряемые с весьма значительной ветровой погрешностью.

На станции Диксон наоборот общее количество осадков относительно невелико ($P''=220.0$ мм, $P=400.2$ мм), но при этом велика доля твердых осадков в их годовом количестве (42 %) и соответственно количество измеренных твердых осадков существенно занижено вследствие выдувания их из дождемера.

Минимальные разности $P-P''$ в среднем составляют около 100 мм и наблюдаются на защищенных и полужащищенных станциях с небольшим годовым количеством осадков, с преобладанием жидких осадков в годовой сумме и невысокими скоростями ветра в период выпадения осадков.

Максимальные значения относительной величины суммарной погрешности измерения осадков наблюдаются на станциях с преобладанием твердых осадков в течение года, достаточно высокими (> 5 м/с) скоростями ветра в дни с осадками: суммарная погрешность дождемера на острове Врангеля составляет 74 %, а на станции Диксон – 82 % от измеренного количества осадков.

Минимальные отношения P/P'' характерны для станций с преобладанием в годовом количестве жидких осадков: Вологда, Астрахань, Самара, Пермь. При этом на всех этих станциях наблюдаются сравнительно небольшие скорости ветра и местоположение дождемера защищенное или частично защищенное.

В результате корректировки измеренных дождемером осадков произошло закономерное перераспределение доли твердых, смешанных и жидких осадков в их годовом количестве. На всех станциях процент твердых осадков увеличился, причем, чем больше доля измеренных твердых осадков, тем сильнее она возрастает при корректировке. Для станций арктического региона доля твердых осадков увеличилась на 10 % и более, достигая на о. Врангеля и Диксон 16-17 %. На прибрежной станции Петропавловский маяк в отличие от остальных пунктов на фоне роста доли твердых осадков (на 7 %) произошло значительное увеличение смешанных осадков (на 8 %), что связано с вышеуказанными особенностями климата Камчатки. Доля жидких осадков соответственно повсеместно уменьшается.

Наглядно демонстрирует влияние результатов корректировки соотношение измеренных и исправленных сумм осадков холодного периода (XI-III) к среднему годовому количеству осадков за дождемерный и осадкомерный периоды (табл. 2). Для всех станций при дождемерных измерениях характерно существенное занижение доли измеренных осадков холодного периода ($P''_{x.n.}/P''_{год}$) в среднем на 10 %. Откорректированные же данные ($P_{x.n.}/P_{год}$) за дождемерный и осадкомерный периоды, как видно из таблицы, очень близки между собой, но при этом в среднем по всем станциям

наблюдается некоторое увеличение доли $P_{x.n.}/P_{год}$ осадкомерного периода по отношению к дождемерному, что в первую очередь связано с различными периодами осреднения.

Таблица 2

Измеренные и исправленные суммы осадков холодного периода ($P''_{x.n.}$ и $P_{x.n.}$) по отношению к среднему годовому количеству осадков ($P''_{год}$ и $P_{год}$) за дождемерный и осадкомерный периоды.

Станция	Дождемер			Период	Осадкомер	
	$\frac{P''_{x.n.}}{P''_{год}}$	$\frac{P_{x.n.}}{P_{год}}$	$\frac{P_{x.n.Швер}}{P_{годШвер}}$		$\frac{P''_{x.n.}}{P''_{год}}$	$\frac{P_{x.n.}}{P_{год}}$
Мурманск	0.20	0.29	0.39	1951-2000	0.30	0.35
Вологда	0.20	0.29	0.30	1954-2000	0.29	0.33
Астрахань	0.32	0.36	0.43	1953-2000	0.34	0.38
Самара	0.24	0.31	0.33	1951-2000	0.39	0.42
Пермь	0.21	0.30	0.29	1952-2000	0.30	0.34
Диксон	0.19	0.28	-	1953-2000	0.42	0.31
Петропавл. маяк	0.25	0.40	-	1951-1990	0.38	0.44
Шмидта, мыс	0.18	0.28	-	1952-1993	0.40	0.31
Врангеля, остров	0.18	0.27	-	1953-2000	0.35	0.32

При сопоставлении дождемерных значений $P_{x.n.}/P_{год}$ с данными, откорректированными по методике Ц.А. Швер и помещенными в Справочнике по климату СССР, ч. IV ($P_{x.n.Швер}/P_{годШвер}$), можно заметить, что для защищенных станций с невысокими скоростями ветра, а, следовательно, и с небольшой ветровой погрешностью, доли осадков холодного периода практически одинаковы за исключением станции Астрахань, что связано с неточным определением защищенности станции при корректировке по методике Ц.А. Швер и завышенным значением коэффициента смачивания для зимних месяцев в Справочнике. Кроме того, в своих работах В.С. Голубев на основе экспериментального материала указал на наличие систематической ошибки в методике корректировки Ц.А. Швер, обусловленное недостаточно надежной формой исходной зависимости коэффициента пересчета от скорости ветра. В.С. Голубевым был получен вывод, что применение данной методики дает завышенные результаты для твердых и смешанных видов атмосферных осадков, что подтверждают полученные в данной работе результаты (табл. 2). Для некоторых морских прибрежных станций и станций Арктического региона с экстремально сильными зимними ветрами пересчетные коэффициенты в Справочнике по климату вообще не были определены.

Корректировка суточных значений измеренных осадков позволяет определить изменения в параметрах их распределения. В работе представлены типичные интегральные кривые распределения вероятностей суточных значений измеренных и исправленных осадков за холодный период для станций с различным режимом выпадения осадков. Отмечено, что для исправленных осадков характерен сдвиг кривой вероятности в сторону больших значений количества осадков. Естественно, что чем больше поправочные коэффициенты, тем эти различия проявляются существеннее. Например, для станции Мурманск интегральная вероятность суточного количества осадков ≤ 1 мм для измеренных сумм составляет 75 %, а для исправленных – 52 %. Для всех распределений характерно уменьшение вероятности «следов» для исправленных сумм осадков. Наиболее ощутимо это проявляется на станциях с большим числом дней со «следами» измеренных осадков.

Раздел 3 посвящен анализу измеренных и исправленных с помощью разработанной методики характеристик количества атмосферных осадков за период с 1936 по 2000 г. В результате проведенных расчётов были получены 65-летние временные ряды суточного количества осадков с устраненными систематическими погрешностями их измерения по 100 станциям РФ.

По исправленным суточным величинам осадков были рассчитаны годовые суммы осадков, осадки теплого и холодного периодов, и годовое количество атмосферных осадков разных видов. Количество осадков определенного вида (дожди, снегопады и смешанные осадки) является дополнительной характеристикой режима увлажнения и имеет большое практическое применение в прикладной климатологии, для сельского хозяйства, при снегоочистительных работах, гидротехнических расчетах. С 1936 г. на сети станций Росгидромета ведутся непрерывные наблюдения за атмосферными явлениями, в том числе и определение вида выпадающих осадков. Это дало возможность в данном исследовании впервые сформировать ряды скорректированных осадков различных видов (твердые, жидкие и смешанные) по результатам непосредственных наблюдений.

В работе для всех исследуемых станций получены данные по исправленным (P_2) и измеренным (P''_2) средним многолетним годовым суммам осадков, их отношения (P_2/P''_2), отношения осадков разных видов ($P_{жс}/P''_{жс}$, P_m/P''_m , $P_{см}/P''_{см}$), сезонных осадков: зимних (P_3/P''_3), весенних (P_6/P''_6), летних ($P_л/P''_л$) и осенних ($P_о/P''_о$), а также холодного ($P_{х.н.}/P''_{х.н.}$) и теплого ($P_{т.н.}/P''_{т.н.}$) периодов. Выполнен анализ влияния корректировки на изменение климатических характеристик количества осадков за объединенный 65-летний период. Показано, что на различия значений исправленных и измеренных осадков, помимо климатических условий в пункте наблюдений, существенное влияние оказывают условия окружения осадкомерного прибора: степень его защищенности, влияющей на скорость ветра у приемной поверхности прибора, а для холодного периода еще и радиус снегосборного бассейна – параметра, необходимого при корректировке данных осадкомера.

Все станции были распределены по четырем регионам России: север ЕЧР (севернее 60° с.ш.), юг ЕЧР (южнее 60° с.ш.), север АЧР (севернее 55° с.ш.) и юг АЧР (южнее 55° с.ш., включая районы Приморья с весьма обильными осадками) и рассчитаны средние арифметические значения отношений по станциям, расположенным в данном регионе. В табл. 3 приведены данные по исправленным (P_2) и измеренным (P''_2) средним многолетним годовым суммам осадков и их отношение (P_2/P''_2), а также отношение исправленных осадков к измеренным для жидких ($P_{жс}/P''_{жс}$), твердых (P_m/P''_m), осадков холодного ($P_{х.н.}/P''_{х.н.}$) и теплого ($P_{т.н.}/P''_{т.н.}$) периодов.

Таблица 3

Среднее многолетнее годовое количество исправленных и измеренных осадков, их отношения, отношения осадков разных видов, холодного и теплого периодов.

Регион	Расположение	P_2 , мм	P''_2 , мм	P_2/P''_2	P_m/P''_m	$P_{жс}/P''_{жс}$	$P_{хн}/P''_{хн}$	$P_{тн}/P''_{тн}$
Север ЕЧР (13 станций)	Севернее 60° с.ш.	624	491	1,28	1,60	1,17	1,48	1,20
Юг ЕЧР (27 станций)	Южнее 60° с.ш.	604	500	1,21	1,56	1,15	1,37	1,14
Север АЧР (38 станций)	Севернее 55° с.ш.	479	377	1,28	1,55	1,17	1,55	1,22
Юг АЧР (22 станции)	Южнее 55° с.ш.	710	585	1,21	1,52	1,13	1,51	1,15

Полученные результаты наглядно демонстрируют зависимость осредненных по большой территории значений поправочных коэффициентов от преобладания того или иного вида осадков в годовом количестве. При этом и для Европейской и для Азиатской части России получены одинаковые осредненные отношения P_2/P''_2 для северных и южных регионов, хотя количество и распределение станций по территории регионов разное. Незначительно выше отношения P_m/P''_m в северных регионах ЕЧР в связи с более высокими скоростями ветра в период выпадения осадков и большим количеством открытых пунктов наблюдений. Если отношения для жидких и твердых осадков во всех регионах показывают близкие сопоставимые значения, то для холодного и теплого периодов картина более пестрая по причинам различий годового хода осадков в разных климатических условиях. Так, на севере АЧР в холодный период доля твердых осадков больше, чем на ЕЧР, следствием этого являются более высокие значения отношений $P_{x.n.}/P''_{x.n.}$ на Азиатской территории. Теми же причинами обусловлены различия отношений $P_{x.n.}/P''_{x.n.}$ и $P_{m.n.}/P''_{m.n.}$ для северных и южных регионов России.

В четвертой главе рассмотрено влияние корректировки результатов наблюдений за количеством осадков на характер временных изменений режима осадков для исследуемых станций. Представлены и проанализированы схематические карты временных изменений количества осадков на основе их скорректированных значений за период 1936-2000 гг.

Раздел 1. Полученные однородные исторические ряды действительного количества осадков позволяют проследить временные климатические изменения режима осадков. Для всех станций были рассчитаны и приведены в работе значения коэффициентов регрессии линейных трендов для двух периодов: общего дождемерного и осадкомерного периода наблюдений и только осадкомерного. В среднем для выбранных пунктов наблюдений первый период составляет около 65 лет, а второй 47 лет.

Анализ коэффициентов регрессии линейных трендов за осадкомерный период наблюдений показал, что большинство из них значимо на 5% уровне. За более длинный общий период дождемерных и осадкомерных наблюдений сами величины изменений (в мм за 10 лет) по модулю в большинстве случаев меньше, чем за осадкомерный период и соответственно число значимых трендов также меньше.

Продемонстрировано влияние корректировки на различие трендов исправленных и измеренных осадков. Для сравнения использован только осадкомерный период наблюдений с целью исключить влияние на тренды нарушения однородности рядов *измеренных осадков* за счет смены прибора. Сравнение коэффициентов регрессии линейных трендов годового количества измеренных ($\beta(P''_{oc})$) и исправленных ($\beta(P_{oc})$) осадков показало их достаточно близкую связь (коэффициент корреляции равен 0.832), но при этом выявлено наличие систематических различий. Корректировка осадков за период наблюдений по осадкомеру на большинстве исследуемых станций приводит к уменьшению положительных трендов и к увеличению отрицательных по абсолютному значению, т.е. рост осадков ослабевает, а падение усиливается.

Скорости изменения количества осадков в зависимости от длины периода существенно различаются. Сравнение коэффициентов регрессии линейных трендов годового количества исправленных осадков, полученных за период 1936-2000 гг. и только за осадкомерный период представлено на рис. 3 для всех станций. Сопоставление всех значений коэффициентов (рис. 3) приводит

к выводу, что удлинение статистически однородных рядов за счет добавления периода дождемерных наблюдений (примерно на 15-19 лет) в большинстве случаев уменьшает положительные значения трендов и увеличивает их отрицательные значения.

Таким образом, в работе получен вывод, что корректировка измеренных осадков и удлинение исследуемых временных рядов на большинстве станций вызывают один и тот же эффект – уменьшение величин положительных трендов. В первом случае при сравнении рядов измеренных и исправленных осадков, мы имеем дело с нарушением однородности ряда *измеренных осадков*, приводящим к искажению величины тренда. Во втором случае, при рассмотрении рядов исправленных осадков, такое изменение трендов при удлинении рядов объясняется, очевидно, естественными межгодовыми изменениями осадков.

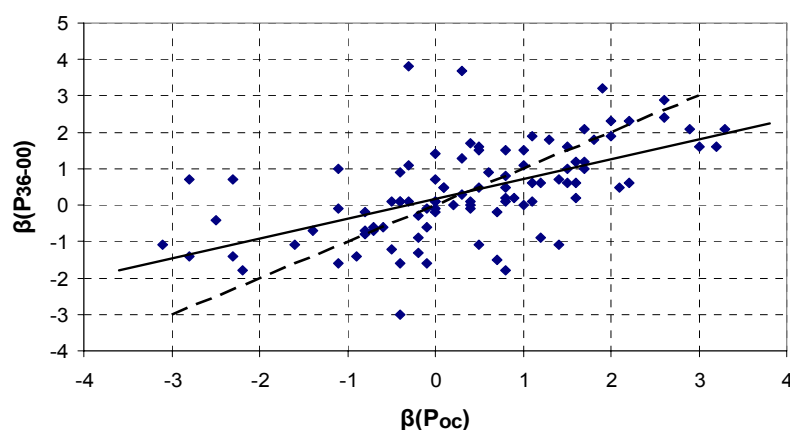


Рис. 3 Сравнение коэффициентов регрессии линейных трендов годового количества исправленных осадков за период 1936-2000 гг. ($\beta(P_{36-00})$) и за осадкомерный период наблюдений ($\beta(P_{oc})$). Пунктиром отмечена линия равных значений.

Раздел 2. В последние годы с развитием исследований в области климатических изменений режима осадков особую актуальность приобретает исследование тенденций временных изменений атмосферных осадков на основе полученных однородных рядов с исключенными систематическими погрешностями их измерения. На основе рядов исправленных осадков для упомянутых 100 станций за период с 1936 по 2000 г. были рассчитаны характеристики линейных трендов не только годовых осадков, но также осадков разных видов (жидких, твердых и смешанных); сезонных (зимних, весенних, летних и осенних) осадков; осадков холодного и теплого периодов и построены соответствующие схематические карты пространственных изменений этих трендов.

Годовое количество осадков. На рис. 4.а представлена карта временных изменений (трендов) годового количества исправленных осадков (в мм) за весь 65 – летний период. Точками отмечено местоположение станций. На рис. 4.б показаны изменения отношения годового количества осадков к среднему многолетнему за исследуемый период (в %).

Анализ представленных на картах данных позволяет выявить основные закономерности в изменении режима атмосферных осадков на территории России за период 1936-2000 гг. На всей Европейской части России выделяется область роста осадков с максимальными значениями на севере Кольского полуострова, достигающими более 200 мм за 65 лет.

Области уменьшения и увеличения годовых сумм осадков сменяют друг друга с запада на восток и имеют в основном меридиональную структуру. За Уралом на территории Западно-Сибирской равнины выделяется обширная область уменьшения осадков с центром в районе бассейна Иртыша и Оби, падение составляет более 26 % (около 100 мм). В северной и центральной частях Восточной Сибири за Енисеем (кроме Таймыра) располагается область незначительного увеличения осадков, охватывая также бассейн р. Лена, за которой снова следует область уменьшения осадков, вплоть до области интенсивного роста в прибрежных районах на севере Дальнего Востока. Области увеличения и уменьшения годового количества осадков соответствуют областям роста и падения годового числа дней с сильными осадками.

На большей части территории России относительные изменения годовых сумм осадков колеблются в пределах $\pm 10-15$ % от среднего многолетнего значения (рис. 4.б). Максимальное увеличение осадков на севере Кольского полуострова, также как и максимальное уменьшение на побережье Восточно-Сибирского моря статистически значимы на 5%-ном уровне и составляют около 40 % от среднего многолетнего за исследуемый период.

Оценка значимости трендов определялась в соответствии с известным статистическим подходом при условии, что $|\beta| > 2\sigma_\beta$. Статистически значимые изменения наблюдаются на 30 станциях и относятся в основном к районам больших межгодовых изменений осадков (Мурманск, Кандалакша, м. Шмидта, о. Врангеля, Бухта Провидения и др.). Причем 70 % от общего количества станций со статистически значимыми временными изменениями имеют положительный тренд, практически все они расположены на территории ЕЧР, большинство станций со значимыми отрицательными трендами - на АЧР. В пределах $2\sigma_\beta > \beta > \sigma_\beta$ (т.е. на 33%-ном уровне) тренды статистически значимы еще на 29 станциях.

Распределение областей изменений количества осадков закономерно согласуется с генетическими и климатическими областями типологии циркуляционных процессов. Так, рост количества осадков совпадает с областями Атлантического (арктическая и континентальная) и Тихоокеанского (муссонная область и Камчатский район) переносов. Область уменьшения осадков совпадает с Западно-Сибирским районом (Атлантико-континентальная и континентальная области). Изменения общей циркуляции атмосферы в течение XX века характеризуются повсеместным усилением циклонической деятельности в Атлантико-Европейском секторе, что и является, по всей видимости, одной из основных причин увеличения осадков на ЕЧР.

Как уже отмечалось, на основании сформированных архивов однородных временных рядов атмосферных осадков суточного разрешения впервые появилась возможность проследить, какие временные изменения произошли в количестве осадков разных видов и оценить их вклад в годовые изменения.

Жидкие осадки. В связи с тем, что на большей части территории России жидкие осадки преобладают в годовом количестве (составляют около 60%), пространственное распределение временных изменений для жидких осадков (рис. 5) во многом повторяет годовые изменения. Особенно это заметно на ЕЧР, где рост годовых осадков происходит в основном за счет роста жидких. В процентном отношении области максимального роста и падения одинаковы и составляют около 40 % от среднемноголетнего количества жидких осадков.

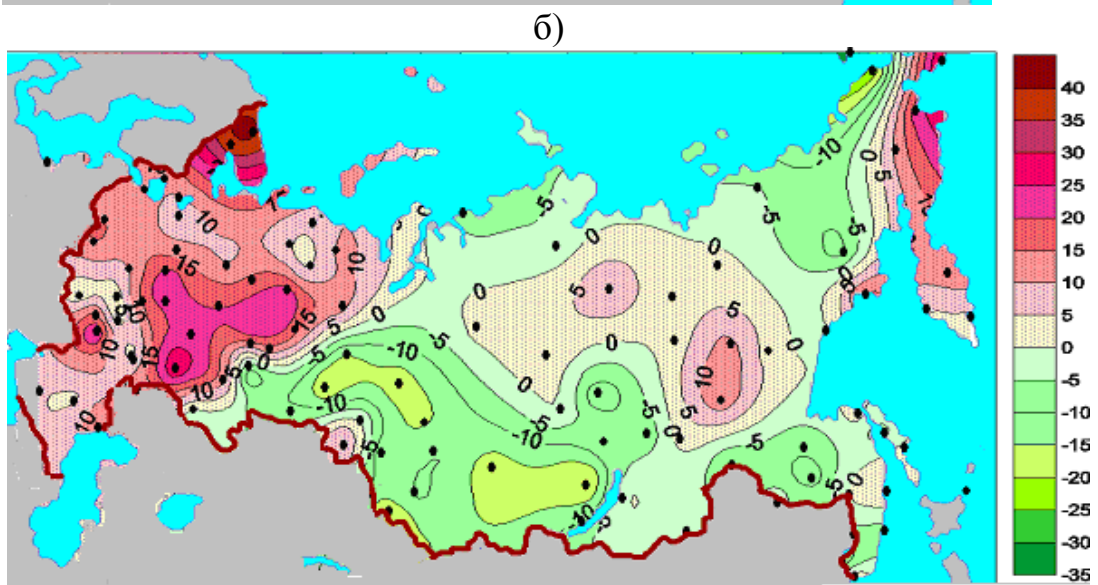
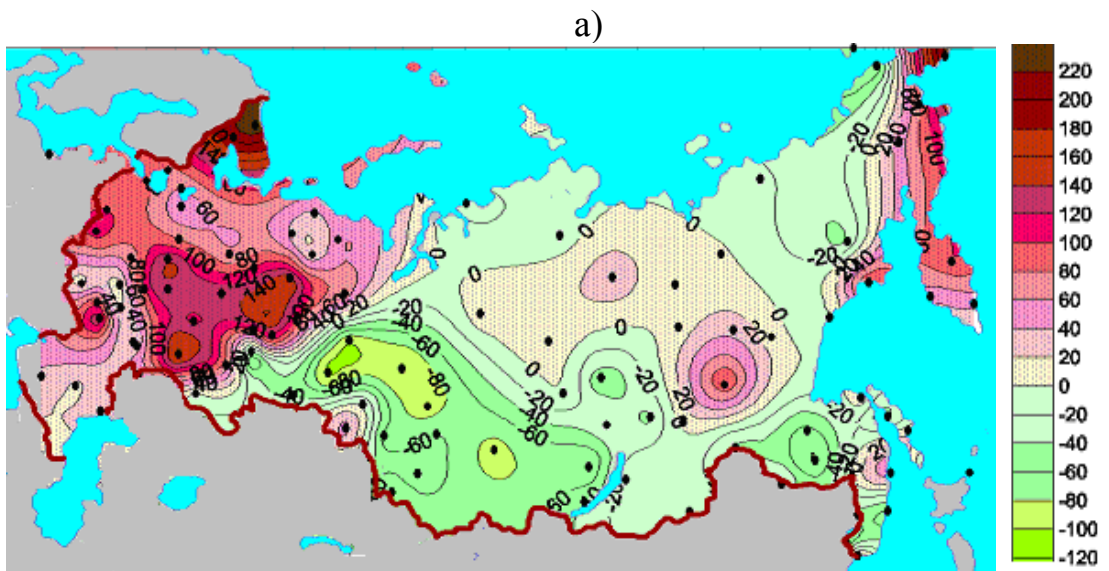


Рис. 4 Временные изменения годового количества осадков за период с 1936 по 2000 г., а) мм, б) %

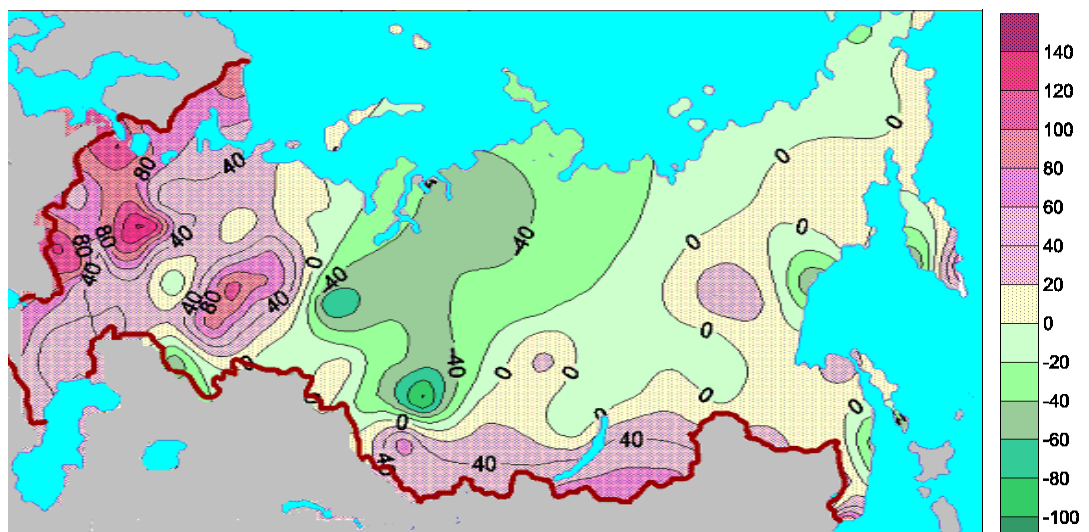


Рис. 5 Временные изменения жидких атмосферных осадков за период 1936-2000 гг., мм

Для жидких осадков в Центрально-Азиатском районе в отличие от годовой карты выделяется область роста (около 40 мм за 65 лет), который компенсируется более существенным падением твердых (рис. 6) и смешанных (рис. 7) осадков. На территории Сибири и вдоль арктического побережья наблюдается уменьшение жидких осадков с максимумом около 50-80 мм в центральной части Западно-Сибирской равнины. На Дальнем Востоке в области тихоокеанского переноса прослеживается незначительный рост жидких осадков.

Твердые осадки. Особый интерес представляют временные изменения количества твердых осадков, т.к. на их измеряемое количество наиболее сильно влияет скорость ветра на высоте ветроизмерительного прибора и соответственно влияние корректировки более существенно. На основной территории России твердые осадки составляют около 30% в годовом количестве, но в полярных широтах они достигают 50% и более.

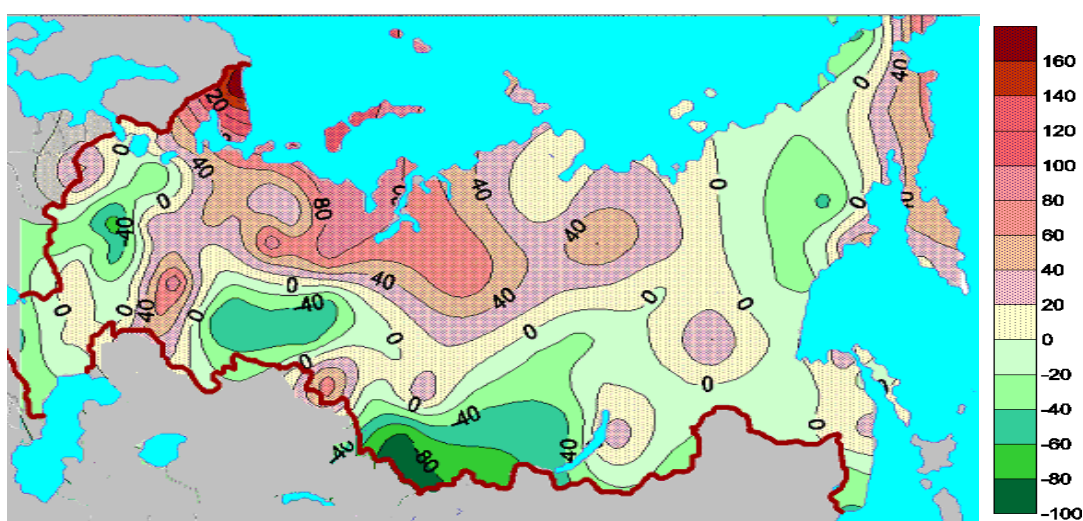


Рис. 6 Временные изменения твердых атмосферных осадков за период 1936-2000 гг., мм

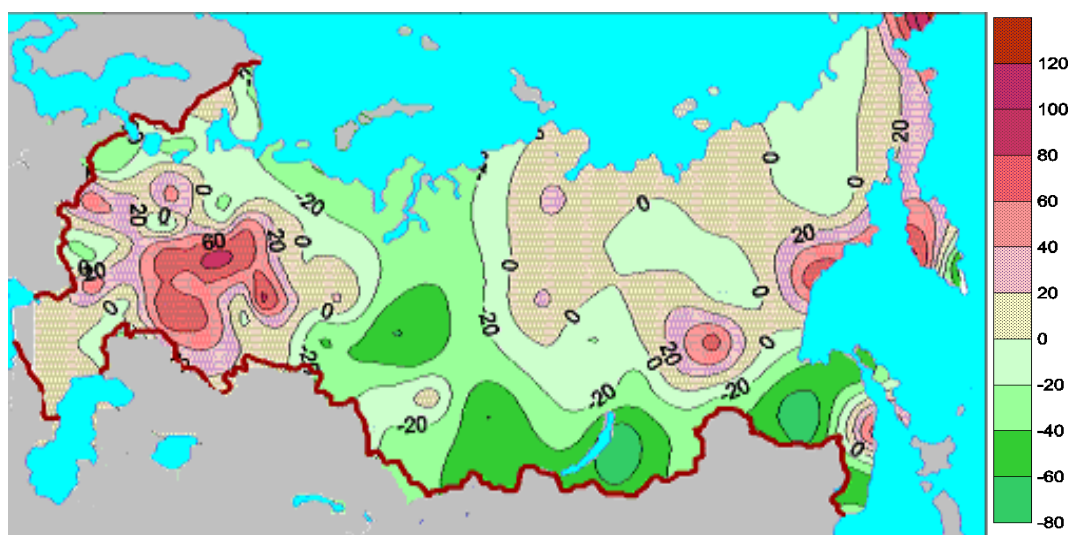


Рис. 7 Временные изменения смешанных атмосферных осадков за период 1936-2000 гг., мм

Схематическая карта временных изменений твердых осадков (рис. 6) существенно отличается от годовой и жидких осадков размерами и расположением центров роста и падения. Очень четко видна обратная связь с трендами жидких осадков. Распределение областей роста и падения носит широтный характер. Синхронное увеличение жидких и твердых осадков наблюдается только на территории Дальнего Востока и Кольском п-ове. В остальных регионах России области максимального уменьшения количества твердых осадков совпадают с областями увеличения жидких, что приводит к незначительным трендам в годовых суммах.

В северных и центральных районах России севернее 60° с.ш. практически повсеместно наблюдается обширная область роста твердых осадков, за исключением северо-восточной части Якутии. Оценки сезонных изменений температуры воздуха Е.И. Александрова и Н.Н. Брызгина, произведенные для тех же районов для периода 1936-2002 гг. для зимних месяцев показывают ее понижение в североευропейском и западносибирском районах, что закономерно связано с увеличением твердых осадков в этих регионах.

По сравнению с жидкими осадками временные изменения твердых осадков теснее связаны с интенсивностью зональных переносов и температурными аномалиями. Эта зависимость отчетливо прослеживается в западноевропейском секторе, для которого в зимний период характерна активизация циклонической деятельности с вхождением тёплого атлантического воздуха, чем объясняется уменьшение суммы твердых осадков и рост жидких и смешанных. Области уменьшения количества твердых осадков наблюдаются в районах, где средняя многолетняя их доля составляет менее 30 % и поэтому их вклад в годовые изменения не столь значителен. Следует отметить, что связь между временными изменениями температуры воздуха и внутригодового распределения доли осадков разных видов отмечалась, также, в работах П.Я. Гройсмана.

Смешанные осадки. Пространственное распределение временных изменений смешанных осадков (рис. 7) имеет более пестрый характер. Значения роста и падения в абсолютном выражении меньше, чем для изменения твердых, и тем более жидких осадков, т.к. смешанные осадки составляют около 15 % от годовой суммы, а методика их определения на сети метеорологических станций претерпевала изменения и не всегда носит достаточно объективный характер. Для смешанных осадков существенно преобладают области уменьшения осадков. Области падения и роста сменяют друг друга с запада на восток страны и имеют в основном меридиональную структуру. Очень резко выражена область интенсивного роста смешанных осадков в центральной части ЕЧР, что, очевидно, связано с повышением температуры воздуха, и, соответственно, с увеличением количества смешанных осадков за счёт твёрдых.

Представленные в работе карты временных изменений осадков за отдельные сезоны (зима, весна, лето, осень), холодного и теплого периодов дают дополнительное детальное представление о внутригодовых изменениях трендов осадков на территории РФ. Так, географическое распределение временных изменений летних осадков и осадков теплого периода напрямую связано с изменениями жидких осадков в силу их преобладания в эти периоды. Временные изменения зимних осадков и осадков холодного периода хорошо коррелируют с твердыми осадками, за исключением отсутствия области уменьшения осадков на западе ЕЧР, что обусловлено небольшой долей твердых осадков в этом регионе и значительным ростом жидких осадков в течение года.

В заключении работы приведены основные выводы по результатам диссертации, а также намечены основные направления дальнейших исследований.

В работе получены следующие основные результаты:

1. Разработана новая методика корректировки количества осадков, измеренных дождемером с защитой Нифера, с использованием в качестве эталона сравнения Валдайской контрольной системы. Данная методика позволяет впервые получить значения количества осадков, свободные от основных систематических погрешностей дождемера на уровне их суточных значений.

2. В едином комплексе с методикой корректировки осадков, измеренных осадкомером Третьякова, решена задача о получении однородных временных рядов скорректированных осадков за весь объединенный период дождемерных и осадкомерных наблюдений с любым временным разрешением (от суточных до годовых сумм осадков).

Основные преимущества данной методики перед существовавшими до последнего времени методиками объединения дождемерных и осадкомерных временных рядов состоят, во-первых, в независимой корректировке данных одного и другого прибора на основе сравнения с одним и тем же надежным сертифицированным международным эталоном измерения осадков. Во-вторых, корректировка производится на уровне суточных измеренных сумм осадков, что даёт возможность получения климатических характеристик осадков по исправленным данным за весь период дождемерных и осадкомерных наблюдений любого временного разрешения.

3. Впервые создан электронный архив параметров защищенности осадкомерных приборов для 100 станций РФ за период с 1936 по 2000 г. с учетом всех временных изменений в ближайшем окружении метеорологической площадки. Данный архив может быть использован не только для расчетов аэродинамической погрешности измерения осадков, но также и при климатологических исследованиях рядов других метеорологических характеристик.

4. Получены архивы однородных временных рядов атмосферных осадков суточного и месячного разрешения с исключенными систематическими погрешностями их измерения для 100 станций РФ, расположенных в различных физико-географических и климатических условиях, за период 1936-2000 гг.

5. Полученные результаты обобщены и представлены в виде стандартных средних многолетних характеристик. Рассмотрено комплексное влияние всех систематических погрешностей стандартных сетевых осадкомерных приборов (дождемер с защитой Нифера и осадкомер Третьякова) на измеряемые суммы осадков. Сравнительный анализ соотношения измеренных и исправленных средних многолетних характеристик количества осадков (годовые суммы осадков, осадки теплого и холодного периодов, и осадков разных видов) показал что:

- величина систематических погрешностей для среднего многолетнего годового количества измеренных осадков за период 1936-2000 гг. в среднем составляет 28 % для северных регионов РФ и 21 % для южных. Закономерность увеличения отношений исправленных осадков к измеренным с юга на север в первую очередь объясняется зависимостью преобладания того или иного вида осадков в их годовом количестве т.е., чем больше доля твердых осадков и выше значения скорости ветра в период их выпадения, тем больше величина отношения;

- недоучет твердых осадков в среднем по территории России за исследуемый период составляет 56 %, а жидких – 15 %. Распределение по территории соотношения измеренного и исправленного годового количества твердых и жидких осадков зависит от ветрового и влажностного режима данной станции и ее защищенности.

6. На основании сформированных однородных временных рядов осадков рассчитаны характеристики линейных трендов за исследуемый период с оценкой их статистической значимости. Корректировка осадков приводит к изменению временных трендов исправленного количества осадков по сравнению с измеренными: значения положительных трендов уменьшаются, а отрицательных увеличиваются по абсолютному значению, т.е. рост осадков ослабевает, а падение усиливается.

7. Построены и проанализированы схематические карты временных изменений годового количества осадков и осадков разных видов, а также за отдельные сезоны (зима, весна, лето, осень) и карты для холодного и теплого периодов.

Анализ временных изменений годового количества осадков показывает, что для всей Европейской части России характерно увеличение осадков, согласующиеся с изменениями режима общей циркуляции атмосферы за исследуемый период. Обширная область уменьшения осадков проявляется в Западно-Сибирском районе, достигая около 20 % от средних многолетних годовых сумм осадков. Статистически значимые наибольший рост (север Кольского полуострова) и максимальное падение (побережье Восточно-Сибирского моря) составляют около 40 %.

8. Анализ временных изменений количества осадков отдельно по их видам позволил детализировать вклад осадков каждого вида (твердых, жидких и смешанных) в годовые изменения. В центральных районах ЕЧР увеличение годовых сумм осадков происходит в основном за счет роста жидких (в среднем на 59 мм за 65 лет) и смешанных (24 мм/65 лет) осадков, а на севере ЕЧР - за счет жидких (47 мм/65 лет) и твердых (50 мм/65 лет) осадков. На севере Дальнего Востока осадки всех видов увеличиваются. На большей части территории России области самого большого уменьшения твердых осадков совпадают с областями максимального увеличения жидких, что приводит к незначительным трендам в годовых суммах.

В заключение необходимо отметить, что полученные результаты позволяют определить основные направления дальнейших исследований по повышению достоверности информации об атмосферных осадках:

1. В области экспериментальных исследований: организация и проведение сравнительных наблюдений по сетевым осадкомерным приборам и осадкомеру в двойной заборной защите конструкции В.С. Голубева - DFIR (промежуточному эталону третьих Международных взаимосравнений осадкомерных приборов) в арктических районах и на Тихоокеанском побережье России при сильных ветрах и метелях;

2. Создание наиболее полного электронного архива однородных данных по количеству осадков для максимального числа метеорологических станций России с целью устранения неопределенностей при изучении пространственно-временных изменений режима увлажнения.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Устранение неоднородности временных рядов осадков, вызванной заменой дождемера с защитой Нифера на осадкомер Третьякова (в соавторстве с Э.Г. Богдановой) – Метеорология и гидрология, 2008, № 8, с.87-102.
2. Современные методы корректировки измеренных осадков и результаты их применений в полярных регионах России и Северной Америки (в соавторстве с Э.Г. Богдановой и Б.М. Ильиным). - Метеорология и гидрология, 2007, № 4, с. 21-44.
3. Временные изменения атмосферных осадков на территории России по данным их скорректированных значений за период 1936-2000 гг. (в соавторстве с Э.Г. Богдановой и Б.М. Ильиным). - Метеорология и гидрология (в печати).
4. Изменение числа дней с сильными осадками на территории России за период 1936-2000 гг. (в соавторстве с Э.Г. Богдановой и Б.М. Ильиным)- Метеорология и гидрология (в печати).
5. Временные изменения годовых и сезонных осадков на территории России по данным их скорректированных значений. – Вторая конференция молодых ученых национальных гидрометслужб государств – участников СНГ «Новые методы и технологии в гидрометеорологии», сборник тезисов докладов, Москва, 2006, с. 34.
6. Оценка влияния защищенности установки осадкомера на величину ветровой погрешности измерения осадков (в соавторстве с Э.Г. Богдановой и Б.М. Ильиным) - Метеорология и гидрология , 2006, № 10, с. 92-101.

