

на правах рукописи

Иванова Екатерина Викторовна

**Специализированные характеристики
интенсивности осадков для прикладных целей**

Специальность 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

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

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2011**

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

Научный руководитель доктор географических наук, профессор
Кобышева Нина Владимировна

Официальные оппоненты доктор географических наук, профессор
Мазуров Геннадий Иванович,
кандидат географических наук
Священников Павел Николаевич

Ведущая организация Российский государственный
гидрометеорологический университет (РГГМУ)

Защита состоится 25 января 2012 года в 14 часов на заседании совета Д
327.005.01 по защите кандидатских и докторских диссертаций при
федеральном государственном бюджетном учреждении «Главная
геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова» по адресу: 194021, Санкт-
Петербург, ул. Карбышева, 7.

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

Автореферат разослан 23 декабря 2011 года.

Ученый секретарь совета по защите докторских и кандидатских диссертаций,
доктор географических наук

А. Мещер

А.В. Мещерская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационного исследования.

Режим осадков в значительной степени влияет на многие виды человеческой деятельности. Интенсивность их выпадения является одной из наиболее сложных характеристик для определения и адекватного учета в прикладных исследованиях. Это объясняется как недостаточной точностью ее измерения, так и проблемами, связанными с обработкой и преобразованием исходных данных в специализированные показатели.

Возрастающее практическое значение детальной информации о временной структуре дождей связано с изменением режима осадков в свете общих климатических изменений, а также с необходимостью разработки новых для российской гидрометслужбы специализированных показателей интенсивности осадков, включенных в зарубежные строительные нормативы. От точности определения характеристик интенсивности осадков, включаемых в расчетные формулы, зависит стоимость сооружений, эффективность и безопасность их эксплуатации.

Сфера применения данных об интенсивности жидких осадках включает принятие архитектурно-планировочных решений, проектирование сетей водоотведения, исследование влияния интенсивности осадков на процессы в почвенном слое, и.т.д. Все эти отрасли нуждаются в своих специализированных характеристиках интенсивности осадков, методики получения которых не всегда соответствуют современным требованиям к климатическим данным. Данная работа призвана в определенной степени восполнить этот пробел.

В диссертации предлагается обновленная методика подготовки данных по интенсивности осадков, включенных в ряд зарубежных нормативных документов по проектированию систем водоотведения. Рассматривается уточненный алгоритм учета данных о жидких осадках, выпадающих на вертикальные поверхности (так называемых «косых дождей») для строительного проектирования и принятия архитектурно-планировочных решений. Анализируется влияние интенсивности осадков на гидрологический режим болот, обуславливающий возникновение и распространение лесных пожаров и эмиссии парниковых газов.

Предмет исследования - получение специализированных характеристик интенсивности осадков для прикладных целей, включая проектирование систем водоотведения, принятие архитектурно - планировочных решений, анализ влияния интенсивности осадков на гидрологический режим болот.

Цель исследования – разработка принципов и методов практического использования климатической информации об интенсивности осадков.

Для достижения данной цели были решены следующие **задачи**:

1. Проанализирована методика построения эмпирического и теоретического «профилей дождя», входящих в ряд зарубежных нормативных документов по проектированию систем водоотведения; данная методика адаптирована для использования на территории РФ в связи с необходимостью климатического обслуживания российских и зарубежных строительных компаний.

2. Проведена апробация методики построения «профилей дождя» на примере двух городов РФ – Санкт-Петербурга и Владивостока.

3. Оценены существующие подходы к определению количества осадков, проходящих через условную вертикальную поверхность («косо дождя») и выработана оптимальная методика.

4. Построены карты количества и интенсивности «косого дождя» для территории РФ по выбранной методике с использованием обновленных данных об осадках.

5. Оценены ожидаемые изменения количества «косого дождя» к середине XXI века на территории РФ.

6. Проведены экспериментальные исследования влияния интенсивности осадков на гидрологический режим болот и проанализированы полученные результаты.

Положения, выносимые на защиту:

- методические рекомендации по расчетам эмпирического и теоретического «профилей дождя», включенных в ряд зарубежных нормативных документов для проектирования систем водоотведения, с учетом особенностей данных об интенсивности осадков, имеющих в РФ,

- карты количества и интенсивности «косого дождя» на территории РФ, построенные по обновленным данным;

- уточненная методика расчета количества «косого дождя» по направлениям и на вертикальную поверхность заданной ориентации;

- прогнозные оценки количества «косого дождя» на середину XXI века по ансамблю моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) для территории РФ;

- оценка влияния осадков различной интенсивности на уровень воды и влагосодержание торфа в сфагновом болоте.

Научная новизна:

- впервые решена задача построения «профилей дождя», входящих в нормативные документы для проектирования систем водоотведения, с учетом особенностей данных об интенсивности осадков, имеющих в РФ;

- впервые построены карты количества и интенсивности «косого дождя» с использованием обновленных данных о количестве осадков, их продолжительности и скорости ветра при дожде для территории РФ;

- по результатам ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) впервые составлена карта количества «косого дождя», ожидаемого к середине XXI века на территории РФ;

- впервые экспериментально доказана связь интенсивности осадков с уровнем воды и влагосодержанием торфяников.

Практическая значимость:

- адаптирована методика построения «профиля дождя», входящая в нормативные документы Евросоюза, для проектирования систем водоотведения на территории РФ. Методика будет представлена в УГМС РФ, Беларуси и Казахстана для климатического обслуживания зарубежных строительных компаний, а также будет использована для обновления отечественных нормативных документов по проектированию систем водоотведения;

- построены карта количества и интенсивности «косого дождя» для территории РФ,

- предложена уточненная методика оценки количества «косого дождя» по направлениям и на стену заданной ориентации. Полученные результаты могут быть использованы в строительном проектировании и при принятии архитектурно-планировочных решений;

- выявлено влияние интенсивности осадков на гидрологический режим болот. Особенности гидрологического режима болот необходимо учитывать при планировании мероприятий по их осушению, в связи влиянием

пониженного уровня воды в болотах на возрастание вероятности пожаров и на увеличение эмиссии углекислого газа.

Достоверность результатов

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием обширного массива данных об интенсивности осадков ВНИИГМИ-МЦД, который был проверен и откорректирован автором. Достоверность результатов расчетов, представленных в работе, подтверждается статистической обеспеченностью используемого фактического материала.

Апробация работы

Результаты работы доложены на семинаре отдела прикладной климатологии ФГБУ «ГГО» и на курсах повышения квалификации в виде лекции «Обеспечение современных потребностей различных категорий потребителей климатической продукцией и информацией». Составлены методические рекомендации для УГМС по расчету «профилей дождя». Результаты работы, касающиеся влияния интенсивности осадков на гидрологический режим болот, были доложены на семинарах в СПбГУ и в Университете г. Гамбурга, на кафедре почвоведения.

Личный вклад автора

Автор принимал непосредственное участие в постановке задач, обработке данных и анализе полученных результатов. Автор лично проводил эксперименты с целью оценки влияния дождей различной интенсивности на гидрологический режим болот в лаборатории Университета г. Гамбург и оценивал достоверность полученных результатов.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Общий объем работы составляет 112 страниц, включая 31 рисунок, 15 таблиц и 3 приложения. Библиографический список включает 74 наименования (в том числе – 23 иностранных).

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

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

В первой главе представлен обзор литературы и проанализировано состояние исследований в области использования информации об интенсивности осадков для прикладных целей. Рассмотрены зарубежные методики построения «профиля дождя», оценены особенности различных подходов к расчету количества «косо дождя». Проведен анализ зарубежных публикаций на тему изменения гидрологического режима болот и возможных последствий этих изменений.

Во второй главе рассматривается методика получения специализированных характеристик интенсивности осадков для проектирования систем водоотведения, принятая в Евросоюзе. Одной из основных характеристик, используемых при проектировании систем водоотведения в ЕС, являются так называемые эмпирический и теоретический «профили дождя». «Профиль дождя» представляет собой графический вид зависимости между интенсивностью дождя, его количеством и продолжительностью, показывающий изменение этих характеристик в течение

дождя. В работе изложена методика по расчету эмпирического и теоретического «профиля дождя».

Раздел 1. При построении эмпирического «профиля дождя» длительность анализируемого дождя принимается за 100%. При этом каждому моменту дождя соответствует определенный процент от средней интенсивности этого дождя и процент от общего количества осадков за дождь. Данный подход позволяет обобщать характеристики дождей различной продолжительности и получить обобщенный эмпирический «профиль дождя», характерный для данных климатических условий.

Требуемая климатологическая информация не содержится в нормативной и справочной литературе РФ, поэтому в данной работе разработана специальная методика для ее получения с учетом особенностей исходных данных об интенсивности осадков, имеющих в РФ. Методика построения эмпирического «профиля дождя» апробирована при получении этого показателя для Санкт-Петербурга. Данными для построения эмпирического «профиля дождя» послужили показания плювиографов для наиболее сильных дождей (более 10 мм) за период 1980-2010 гг. Затем эта информация обрабатывалась по предложенной автором схеме для каждого анализируемого дождя.

Форма представления информации о каждом конкретном дожде в виде «профиля дождя» позволяет усреднять значения интенсивности и количества осадков за разные дожди независимо от различий в их продолжительности, а затем получить осредненный эмпирический «профиль дождя», характерный для данного климатического района. Пример такого «профиля дождя» представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Зависимость интенсивности и количества осадков от времени в течение «осредненного» дождя.

% от продолжительности	% от средней интенсивности	% количества осадков
0	0	0
1	143	1.44
2	142	2.85
3	165	4.50
...
97	40	98.91
98	40	99.31
99	35	99.65
100	35	100.00

По данным таблицы 1 строится осредненный «профиль дождя» (рис. 1).

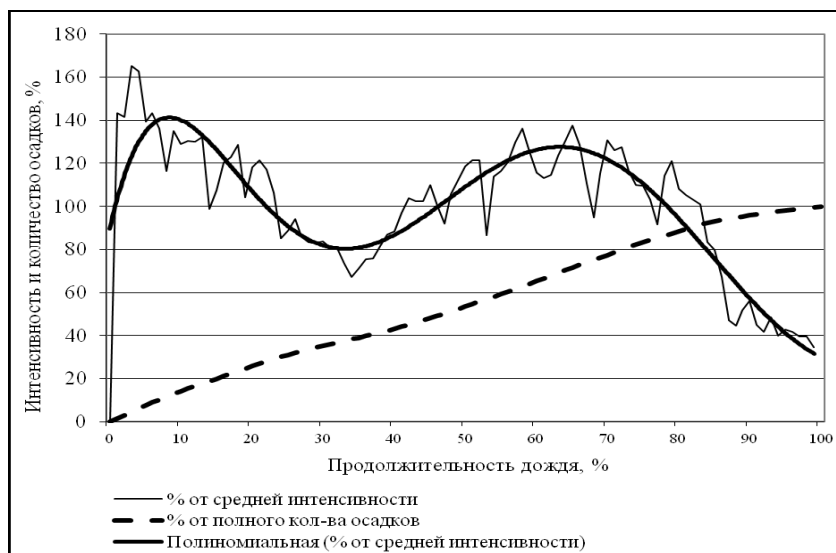


Рис. 1. Осредненный эмпирический «профиль дождя»

Рис. 1 демонстрирует общий вид изменения интенсивности и скорость накопления сумм осадков во время наиболее интенсивных дождей в районе строительства. График показывает, в какой момент достигается максимальная интенсивность, насколько она превосходит среднее значение, как нарастает сумма осадков в течение дождя.

Очевидно, что в реальности каждый дождь имеет свой «профиль». Однако профили всех дождей, в соответствии с нормативными документами ЕС, были разделены на две основные группы: профили ливневых и обложных дождей. На рис. 2 и 3 представлены осредненные профили ливневого и обложного дождя в Санкт-Петербурге.

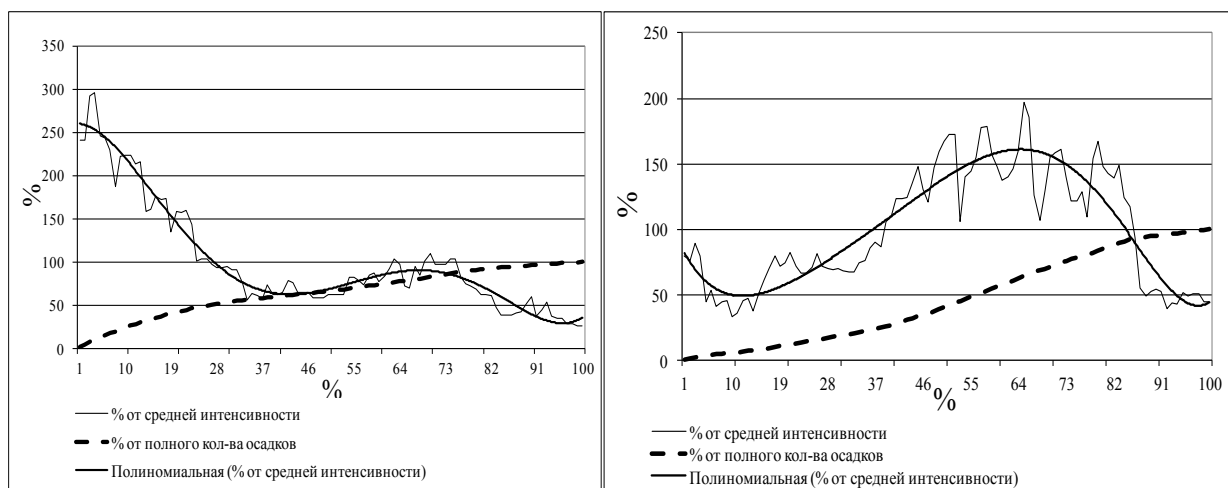


Рис. 2. Профили ливневого (А) и обложного (Б) дождей.

На рисунках видно, что два типа профилей отличаются как величиной отклонения максимальной интенсивности от среднего значения, так и периодами наступления максимальной и минимальной интенсивности. Полученные значения являются специализированными характеристиками и учитываются при проектировании водоотведения ливневых стоков.

Раздел 2. Для построения теоретического «профиля дождя» в работе проведена статистическая обработка интенсивности дождей по данным плювиографов, полученных из ВНИИГМИ-МЦД за период наблюдений 1980-2010 г. для Санкт-Петербурга и Владивостока. Перед использованием полученный массив был проверен автором на наличие ошибок и откорректирован. На первой стадии работы проводилась выборка годовых максимумов интенсивности осадков из данных о наиболее сильных (> 10 мм) дождях за интервалы времени 10, 15, 20, 30, 60, 120, 240, 360, 480, 960, 1440 (сутки), 2160, 2880, 4320, 5760, 7200, 8640, 10080 (7 суток) минут. Такие временные интервалы связаны с периодом дотекания дождевой воды до коллектора из различных частей дренируемой территории. Выборка интервалов максимальной интенсивности проводилась при помощи составленной автором программы, выполненной в приложения Eclipse на языке Java.

За каждый год для рассматриваемых интервалов продолжительности выбирался один максимум интенсивности из всех дождей данного года. Таким образом, были сформированы ряды годовых максимумов интенсивности для каждого анализируемого интервала времени.

В Санкт-Петербурге длительность дождей не превышала 2160 минут, а во Владивостоке - 2880 минут. Так как для целей проектирования необходимо получение теоретически возможных дождей длительностью до 7 суток, для данных за каждый год была проведена экстраполяция интенсивности осадков на более длительные интервалы времени с использованием зависимости между величиной интенсивности дождя и длительностью временного интервала.

Следующим этапом работ был выбор статистического распределения, позволяющего наиболее точно определить значения интенсивности осадков за указанные временные интервалы, возможные 1 раз в 2, 5, 20, 30, 100, 200 лет.

Разные авторы для аппроксимации характеристик осадков использовали различные теоретические распределения (трехпараметрическое гамма распределение, распределение Гумбеля, распределение Пирсона III типа, логнормальное и т.д.). В данной работе для выбора теоретического распределения использован пакет программ STATISTICA. Для каждого интервала времени, за который определялась интенсивность осадков, был проведен подбор наиболее подходящего распределения с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. Проверка соответствия эмпирического распределения теоретическому производилась с помощью этого критерия на 5% уровне значимости.

Анализ рядов интенсивности по всем 36 временным интервалам (18 – для Санкт-Петербурга и 18 – для Владивостока) показал, что в 70% случаев наиболее близким к эмпирическому распределению годовых максимумов интенсивности осадков за различные временные интервалы оказалось логнормальное распределение. В остальных 30% случаях оно входит в первую четверку распределений в соответствии с критерием Колмогорова-Смирнова, наряду с распределением Гумбеля, гамма и Пирсона. Результаты расчетов не выявили зависимости между типом выбранного распределения и длительностью временного интервала.

В качестве примера на рисунке 4 представлена степень соответствия эмпирического и теоретического распределения, построенном по данным о максимальной интенсивности за 10- минутный интервал во Владивостоке.

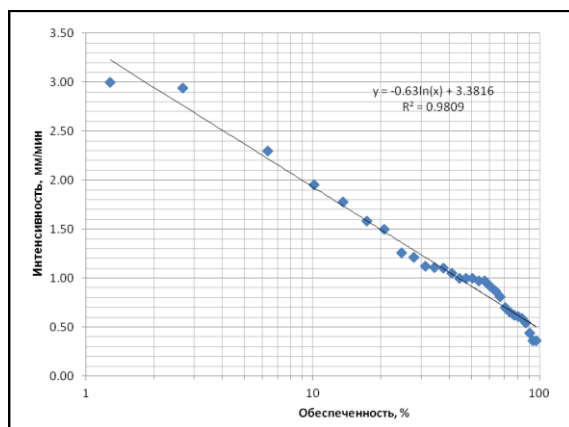


Рис. 4. Аппроксимация максимальной интенсивности дождей за 10-минутный интервал логнормальным распределением. Владивосток.

На основании проведенного исследования именно логнормальное распределение было использовано для определения интенсивности и количества осадков за различные временные интервалы с разной обеспеченностью (50, 80, 95, 96.7, 99, 99.5 %) для Санкт-Петербурга и Владивостока. Результаты расчетов представлены в приложении к диссертационной работе. В качестве примера в таблице 2 представлены суммы осадков за интервалы времени с 10 до 480 минут для Санкт-Петербурга.

Таблица 2.

Средняя интенсивность осадков (мм/мин) за указанные интервалы времени с различной обеспеченностью

Период повторения	Р %	Интервалы времени, мин								
		10	15	20	30	60	120	240	360	480
2 года	50	6.52	8.24	8.78	10.28	14.59	17.91	22.32	23.92	22.59
5 лет	80	9.29	11.64	12.66	14.67	21.41	26.06	30.40	33.65	33.00
20 лет	95	13.02	16.19	17.94	20.60	30.89	37.27	40.83	46.62	47.37
30 лет	96.7	14.10	17.50	19.47	22.31	33.67	40.54	43.77	50.34	51.57
100 лет	99	17.34	21.42	24.12	27.47	42.16	50.48	52.45	61.47	64.37
200 лет	99.5	19.26	23.73	26.88	30.52	47.24	56.42	57.48	68.01	72.02

Полученные суммы осадков служат основой для построения теоретического «профиля дождя», отражающего не наблюдаемое, а расчетное распределение интенсивности и количества осадков внутри рассматриваемых интервалов времени. В соответствии с нормативными документами ЕС расчеты ведутся по следующей формуле:

$$y = (1 - a^z) / (1 - a), \quad z = x^b \quad (1),$$

где y – доля от суммы осадков за данный интервал времени (например, за 15 мин), x – доля от данного интервала времени (например, 1 минута),

a и b – эмпирические коэффициенты, отражающие степень урбанизированности территории. Для городской территории $a=0,1$, $b=0,815$.

Пример расчета значений x и y для 15- минутного интервала в интегральной (y_1) и дифференциальной (y_2) форме для Санкт-Петербурга представлен в таблице 3 и на рисунке 5.

Таблица 3.

Распределение долей суммы осадков за 15-минутный интервал в соответствии с долями от длительности интервала.

минуты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
x	0.07	0.13	0.20	0.27	0.33	0.40	0.47	0.53	0.60	0.67	0.73	0.80	0.87	0.93	1.00
z	0.11	0.19	0.27	0.34	0.41	0.47	0.54	0.60	0.66	0.72	0.78	0.83	0.89	0.95	1.00
y 1	0.25	0.40	0.51	0.60	0.68	0.74	0.79	0.83	0.87	0.90	0.93	0.95	0.97	0.99	1.00
y 2	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.13	0.25	0.13	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02

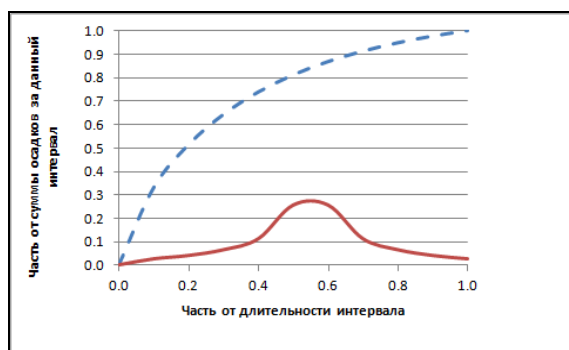


Рис. 5. Теоретический «профиль дождя» в 15-минутном интервале в интегральной (пунктирная линия) и дифференциальной (сплошная линия) форме. Санкт-Петербург.

На основе полученных данных были построены 18 теоретических профилей для каждого города (в соответствии с 18 требуемыми временными интервалами) с различной обеспеченностью. В качестве примера на рис.6 представлены теоретические «профили дождя» в течение 10-минутного и 60-минутного интервалов для Санкт-Петербурга.

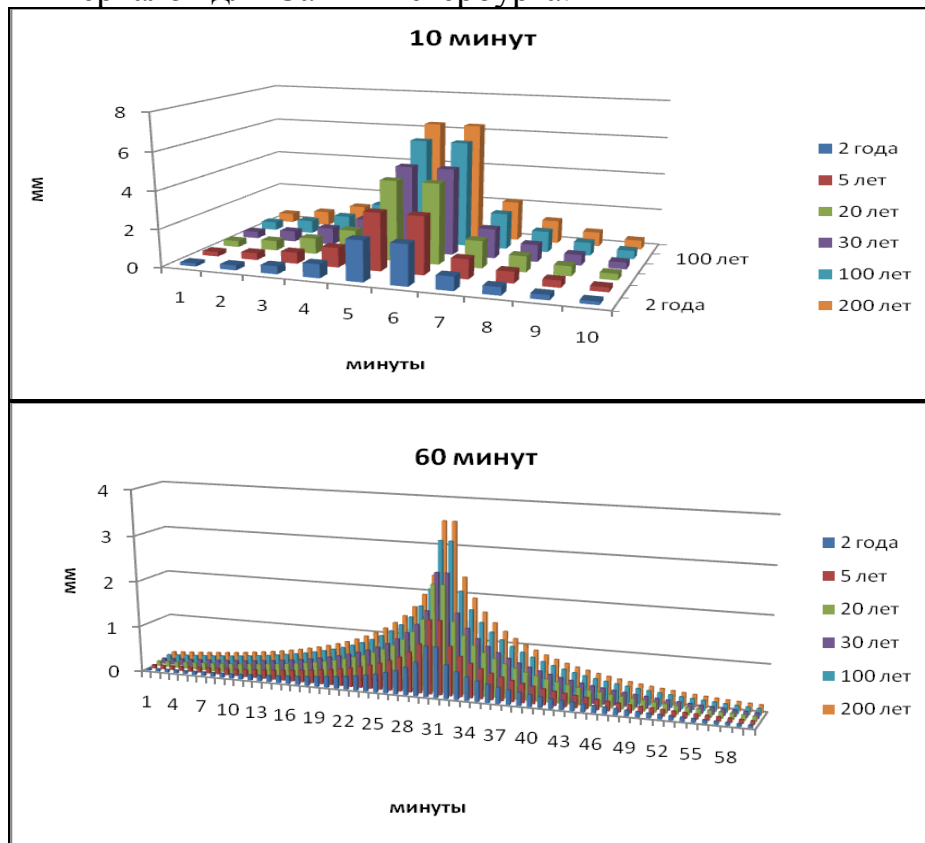


Рис. 6. Теоретические «профили дождя» для 10-минутного и 60-минутного интервалов с различным периодом повторения. Санкт-Петербург.

Основная особенность теоретического профиля дождя – это его симметричность, которая, конечно, не наблюдается в реальности. График показывает теоретически возможное распределение интенсивности внутри данного временного интервала и максимальные значения интенсивности заданной обеспеченности. Несмотря на схожесть форм графиков, видно, что для различных периодов повторения максимальная интенсивность имеет разные значения (например, в Санкт-Петербурге для 60-минутного интервала максимальная интенсивность с обеспеченностью 99,6% составляет 3,5 мм/мин, а для 10-минутного - 5,9 мм/мин). Теоретический «профиль дождя» наглядно демонстрирует и различия в величине возможной интенсивности между двумя пунктами с различными климатическими условиями (рис. 7).

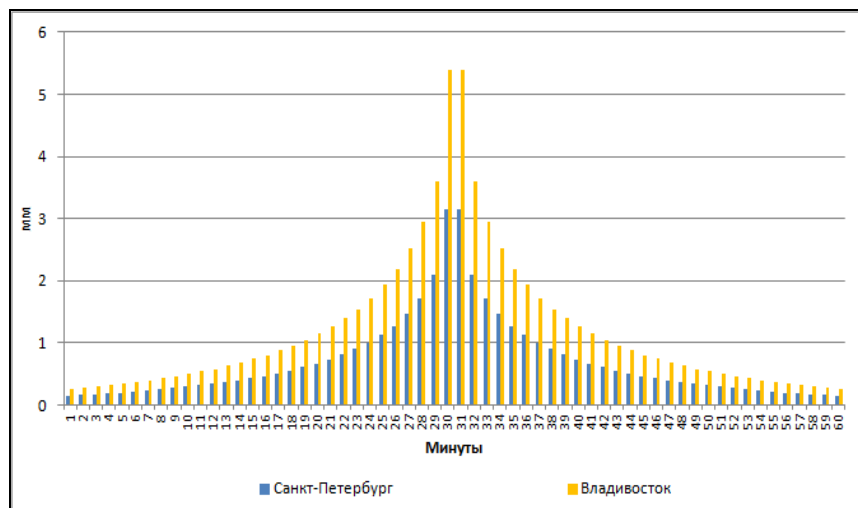


Рис. 7. Интенсивность осадков, возможная в 60-минутном интервале времени с обеспеченностью 100 лет для Санкт-Петербурга и Владивостока.

Информация об интенсивности осадков в виде теоретического профиля входит как в расчеты диаметров труб дождевой канализации, так и учитывается при общем планировании размеров системы водоотведения, т.к. включает данные о количестве воды, поступающей в течение длительного времени (до 7 суток) с наиболее отдаленных участков дренируемой территории. В настоящее время ведется работа по получению аналогичных данных для других пунктов РФ.

Предлагаемая схема расчета «теоретического профиля» дождя позволяет не только оперативно получать специализированные характеристики интенсивности осадков, используемые в зарубежной практике проектирования, но и провести уточнение нормативных данных, входящих в российские нормативные документы. Так, например, результаты расчетов показали, что суточный максимум осадков 99% обеспеченности с учетом данных последних лет составляет 90 мм, а не 80 мм, как отмечалось в Научно-прикладном справочнике по Климату СССР (1980). Интенсивность осадков за 20 минутный интервал, учитываемая в СНиП 2.04.03-85. «Наружные сети и сооружения», также оказалась немного выше (0,41 мм/мин вместо 0,36 мм/мин.). Полученные результаты необходимо принимать во внимание при актуализации российских СНиПов и гармонизации их с нормативными документами ЕС, проведение которых планируется в ближайшем будущем.

В третьей главе рассматривается методика расчета количества осадков, проходящих через условную вертикальную поверхность («косо дождя»).

Среди всех разновидностей атмосферных осадков они представляют главную опасность для зданий, оказывая разрушающее воздействие на фасадные конструкции, вызывая потерю прочности и теплоизоляционных свойств. Кроме того, избыточное увлажнение стен может стать причиной развития грибка и плесени, а также нарушить комфортный влажностный баланс внутри помещения.

Раздел 1. В настоящее время в России отсутствуют количественные оценки сумм «косо́го дождя», рассчитанные с использованием данных об осадках, в которых были бы учтены основные систематические погрешности осадкомерных приборов. Поэтому целью данной работы стало получение данных о «косом дожде» с использованием обновленных и уточненных средних многолетних данных как о суммах осадков, так и об их интенсивности, продолжительности и скорости ветра при дожде. Такие данные к настоящему моменту получены в ОМРЭИ ГГО им. А. И. Воейкова для 100 метеостанций на территории России. Методика введения поправок в осадкомерные данные изложена в ряде работ сотрудников этого отдела и Государственного гидрологического института.

Для расчета средних многолетних сумм осадков в отделе ОМРЭИ использовался период наблюдений с 1936 по 2000 гг. Корректировка сумм осадков проводилась на уровне суточных данных с учетом ветрового воздействия, испарения, смачивания и конденсации на стенках осадкомерного сосуда. Ценность такой методики корректировки заключается еще и в том, что она учитывает изменение защищенности осадкомера во времени. Для расчета количества жидких осадков, выпадающих на вертикальную поверхность, в работе использовалась формула:

$$Q_{\text{верт.}} = \frac{Q_{\text{гор.}} \times V_{\text{д}}}{V_{\text{к}}} \quad (2)$$

где $Q_{\text{верт.}}$ – среднее многолетнее количество жидких осадков, выпадающих на вертикальную поверхность за месяц, мм; $Q_{\text{гор.}}$ – среднее многолетнее количество жидких осадков, выпадающих на горизонтальную поверхность за месяц, мм; $V_{\text{д}}$ – средняя многолетняя скорость ветра в дни с осадками за месяц, м/с; $V_{\text{к}}$ – средняя скорость равновесного падения капель дождя, м/с.

Надо отметить, что в реальности на количество осадков, выпадающих на вертикальную поверхность стены, кроме указанных метеорологических факторов оказывают влияние и аэродинамические особенности сооружения, которые не учитываются в работе. Поэтому, строго говоря, в данном случае речь идет о количестве осадков, проходящих через условную вертикальную поверхность в ненарушенном ветровом потоке. Однако это не препятствует созданию обобщенной, но вполне реальной картины распределения косых дождей по территории РФ.

Как видно из формулы (2), для расчета сумм «косо́го дождя», кроме измеряемых метеорологических величин, необходима информация и о скорости падения капель дождя. Эту характеристику естественно связать с диаметром капель дождя, а, следовательно, и с его интенсивностью. Разные авторы использовали для этого различные эмпирические зависимости, привлекая данные как о реальных дождях, так о результатах лабораторных опытов. В данной диссертационной работе рассматривались зависимости, приведенные в работах А. И. Кругловой, В.Д. Гемфриса и Э. Г. Богдановой. Была сделана попытка проанализировать и данные о скорости падения капель, соответствующие различной интенсивности дождей, приведенные в ГОСТ Р 53613-2009 (МЭК 60721-2-2:1988) «Воздействие природных внешних условий

на технические изделия. Общая характеристика. Осадки и ветер». Однако диапазон значений скоростей падения капель в ГОСТ оказался слишком велик, это не позволило в дальнейшем использовать данные этого документа для конкретных оценок количества «косо́го дождя». На рис.8 представлены зависимости между рассматриваемыми характеристиками по данным трех вышеуказанных авторов.

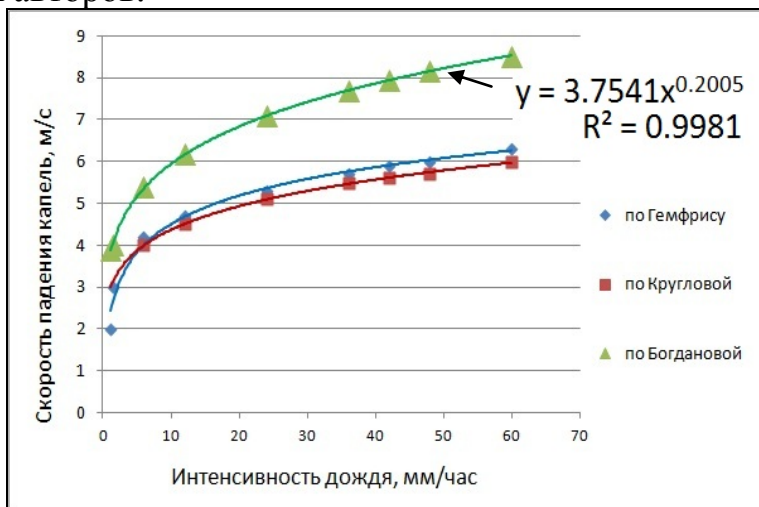


Рис. 8. Зависимости скорости падения капель от интенсивности дождя.

После проведения анализа данных, используемых при получении зависимостей, выяснилось, что в работах А. И. Кругловой и В.Д. Гемфриса за основу брался средний диаметр капель, соответствующий определенной интенсивности. В работе Кругловой в качестве средней скорости падения капель дождя принималась средняя величина скоростей падения капель всего спектра дождя, т.е. сумма скоростей падения всех капель, деленная на число капель в спектре дождя. Таким образом, в средней скорости падения капель наибольшей вес имели мелкие капли с малыми скоростями падения (они преобладают практически во всех дождях). Из-за этого средняя скорость падения капель получается несколько заниженной. В результате суммарные значения количества «косо́го дождя» оказываются завышенными.

Э.Г. Богданова рассматривала осредненную характеристику скорости равновесного падения капель, взвешенную по количеству воды приносимой каплями всех размеров, используя формулу Маршала – Пальмера. На основе полученных данных построена зависимость средней скорости равновесного падения капель дождя от его интенсивности. Такой подход обеспечил наилучшее соответствие расчетных данных и результатов наблюдений. Поэтому указанная эмпирическая зависимость взята за основу в диссертационной работе. В результате аппроксимации зависимости получена следующая формула:

$$V_k \approx 3.75 * I^{0.2} \quad (3)$$

где V_k - средняя скорость равновесного падения капель дождя, м/с,

I – интенсивность, мм/час.

Как доказано в работах Э.Г. Богдановой, значения интенсивности, входящие в формулу (3), могут быть рассчитаны делением среднего месячного количества осадков на их среднюю месячную продолжительность. В диссертационной работе расчет месячного количества «косо́го дождя» проводился на основе данных о конкретных дождях в месяцы с положительной температурой воздуха, включая скорость ветра и продолжительность дождей,

измеренные непосредственно в дни с осадками. При расчете была использована формула:

$$Q_{\text{верт}} = \frac{Q_{\text{гор}} \cdot V}{3,75 \left(\frac{Q_{\text{гор}}}{\tau} \right)^{0,2}} \quad (4)$$

где V – средняя многолетняя скорость ветра в дни с осадками за месяц, м/с, в конкретном месяце, τ – продолжительность осадков в конкретном месяце, часы.

Результаты расчетов были нанесены на карту (рис.9).

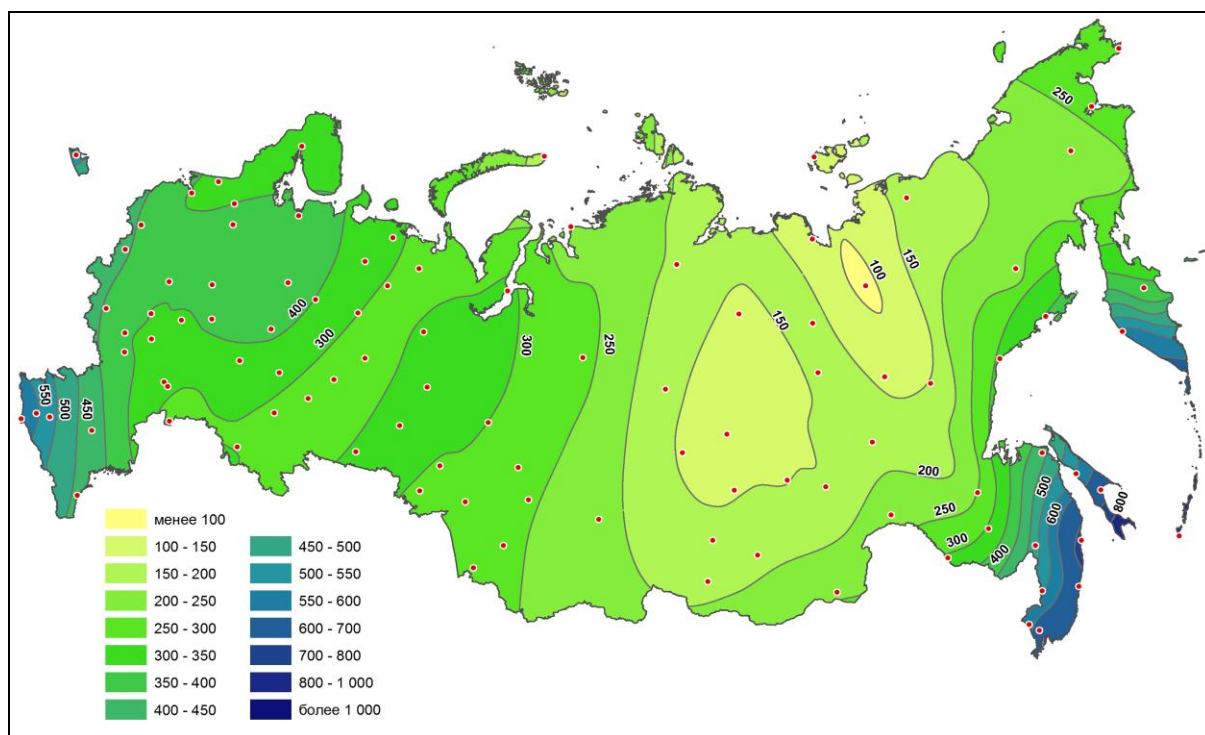


Рис.9. Годовое количество «косого дождя» (мм) на территории РФ

Карта на рис. 9, также как и карты на рис. 10, 13, 14 и 15, построены автором в равноудаленной конической проекции (Equidistant Conic), в системе координат WGS_1984, с использованием программы ArcGIS 9.3. Построение изолиний выполнялось методом Kriging, который при проведении интерполяции позволяет учесть статистическую структуру картируемых полей.

Представленная карта носит фоновый характер и отражает общие закономерности распределения сумм «косого дождя» на равнинной территории РФ без детализации этой характеристики в горных районах. Результаты показывают, что наибольшее количество «косого дождя» приходится на побережье Приморского края (900-1100 мм), Камчатку и Курильские острова (1000 – 1300 мм), а также Черноморское побережье (700-800 мм). На Северо-Западе и в Центральной России количество косого дождя составляет 400-600 мм. Наименьшее количество косого дождя отмечается в Восточной Сибири (100-300 мм). В районах с пересеченным рельефом пункты, находящиеся на наветренных и подветренных склонах по отношению к влагонесущему потоку, могут сильно отличаться и не соответствовать указанным, средним для региона, значениям.

Карта на рис. 10 демонстрирует соотношение количества осадков, выпадающих на вертикальную и горизонтальную поверхности.

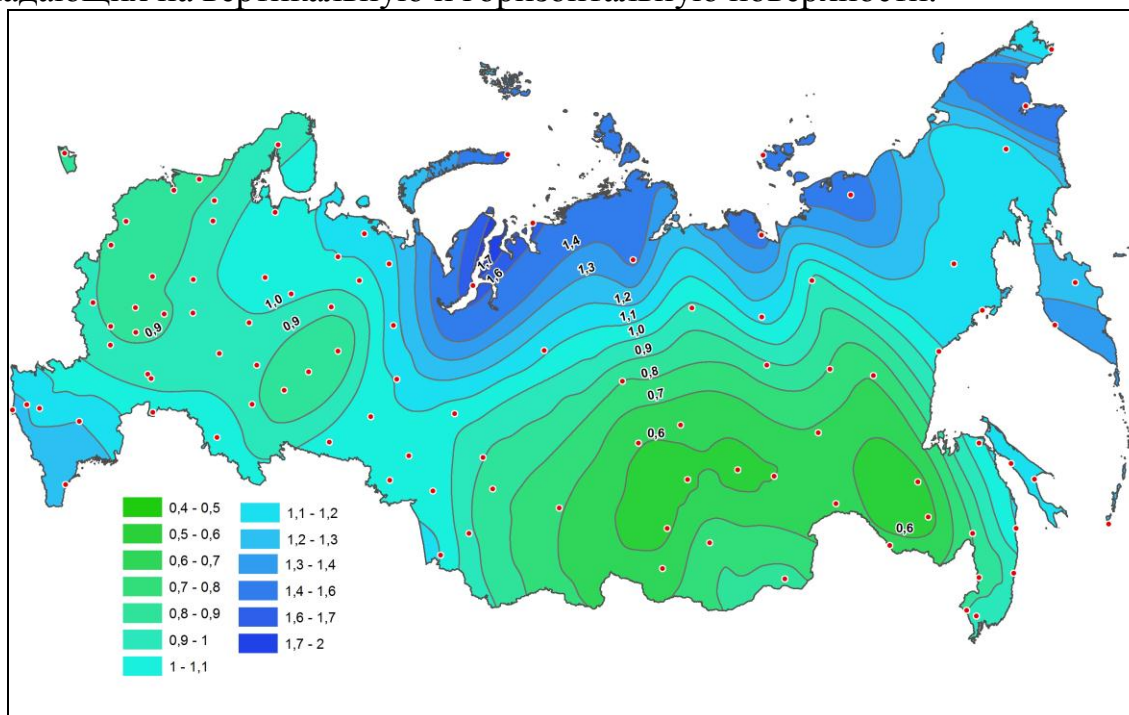


Рис.10. Отношение количества «косо́го дождя» к количеству жидких осадков на горизонтальную поверхность на территории РФ ($Q_{\text{верт.}} / Q_{\text{гор.}}$)

На данной карте наиболее заметны следующие особенности:

- максимальные различия между количеством осадков, выпадающих на вертикальную и горизонтальную поверхности, наблюдаются на побережье Северного Ледовитого океана (1,7 – 2 раза). Это связано с большими скоростями ветра и относительно небольшой средней интенсивностью выпадающих осадков. Осадки малой интенсивности больше подвержены влиянию ветра. Поэтому в этих районах количество «косо́го дождя» значительно превышает количество осадков на горизонтальную поверхность,

- на юге Восточной Сибири наблюдается противоположная картина. На вертикальную поверхность выпадает меньше осадков, чем на горизонтальную вследствие малых скоростей ветра,

- на Черноморском побережье осадки большой интенсивности сопровождаются сильными ветрами. Однако более интенсивные осадки меньше подвержены влиянию ветра. В результате осадки на вертикальную и горизонтальную поверхность отличаются мало. Невелики различия и на Европейской территории России.

Карта, представленная на рис. 10, может служить ориентиром при оценках сумм «косо́го дождя» в конкретных пунктах, где имеется информация о годовом количестве жидких осадков, выпадающих на горизонтальную поверхность.

Раздел 2. Большой практический интерес представляет распределение количества «косо́го дождя» по направлениям ветра и на стену заданной ориентации. В научной литературе и нормативных документах по данной тематике существуют различные мнения. Для выяснения этого вопроса в диссертационной работе были проанализирована информация о распределении «косо́го дождя» и повторяемости годового направления ветра для городов Владивостока (рис.11) и Санкт-Петербурга (рис.12).

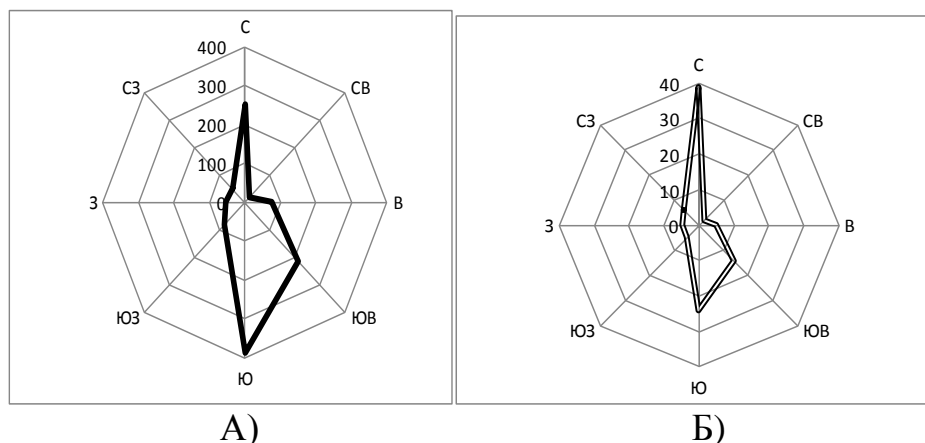


Рис. 11. Распределение годового количества «косого дождя», мм (А) и повторяемость годового направления ветра, % (Б). Владивосток.

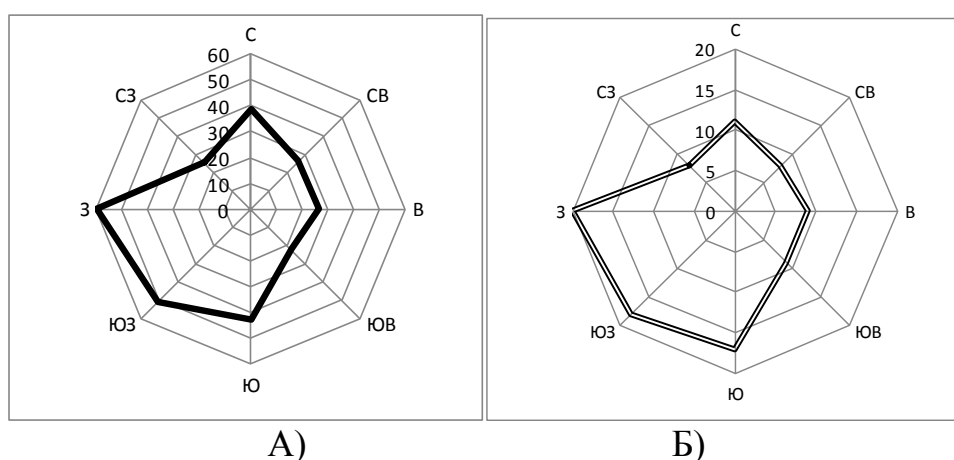


Рис.12. Распределение годового количества «косого дождя», мм (А) и повторяемость годового направления ветра, % (Б). Санкт-Петербург.

Графики показывают, что во Владивостоке при преобладании за год в целом северного направления ветра, наибольшее количество «косого дождя» приносится южным ветром, т.к. вследствие муссонной циркуляции направление ветра в месяцы преобладания жидких осадков наиболее часто отмечаются ветры южных направлений. Следовательно, несмотря на преобладание ветров северных направлений в среднем за год, наибольшему воздействию «косого дождя» подвержены стены южной ориентации. Надо отметить, что в Справочном пособии к СНиП 2.08-01-89 «Проектирование жилых зданий. Объемно-планировочные решения» утверждается: «в районах побережья Тихого океана, где сильные ветры сочетаются с косыми дождями, торцы зданий, обращенные на север, северо-восток и северо-запад, рекомендуется предусматривать глухими». Про стены южной ориентации упоминаний нет. Таким образом, особенности распределения годового количества косых дождей во Владивостоке в данном документе не учтены.

В Санкт-Петербурге наблюдается иная картина. Распределение «косого дождя» и повторяемости ветра по направлениям имеют сходный характер из-за преобладания западных и юго-западных направлений в течение всего года.

Полученные результаты показывают, что розы годового количества «косого дождя» и розы годового направлений ветра не всегда совпадают. Поэтому необходимо проведение детального анализа распределения «косого

дождя» по направлениям в течение всего года для оптимальной защиты ограждающих конструкций различной ориентации от воздействия влаги.

Раздел 3. Наряду с оценками количества «косого дождя» представляет значительный практический интерес информация о его интенсивности. В диссертационной работе проведен расчет среднегодовой и максимальной среднемесячной интенсивности «косого дождя» для 95 станций на территории РФ. По результатам расчетов построены карты (рис.13, рис.14).

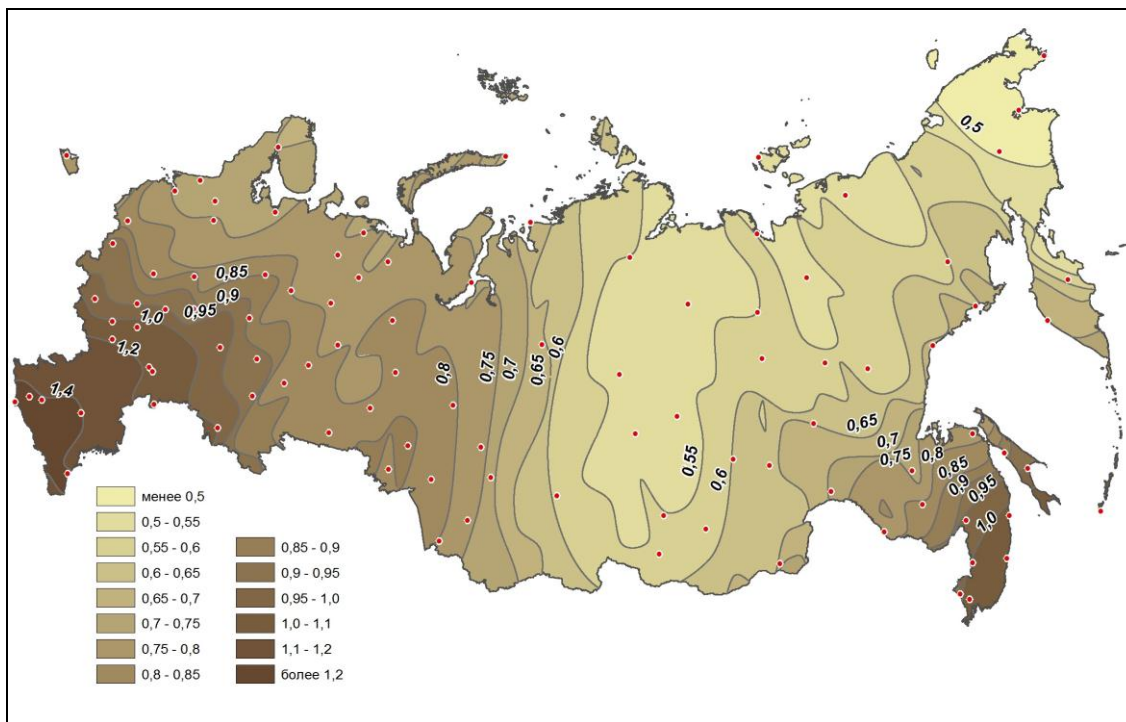


Рис.13. Средняя интенсивность «косого дождя» (мм/час) на территории РФ

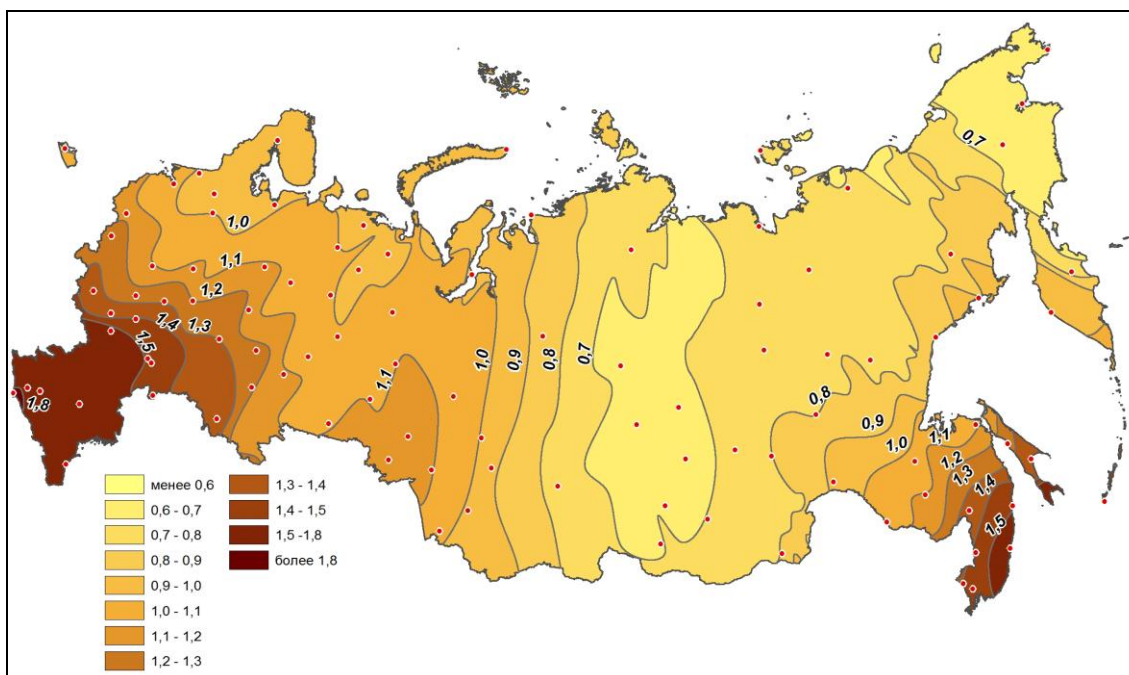


Рис.14. Максимальная среднемесячная интенсивность «косого дождя» (мм/час) на территории РФ

Как видно на рисунках, наибольшие значения среднегодовой и максимальной среднемесячной интенсивности «косо́го дождя» наблюдается на Черноморском побережье Кавказа и юге Дальнего Востока. Однако заметно, что распределение интенсивности «косо́го дождя» отличается от распределения его количества по территории РФ. Прежде всего, это объясняется тем, что интенсивность жидких осадков тесно связана с температурой воздуха в теплый период, поэтому ее изменение носит в основном широтный характер, особенно на равнинных территориях (ЕТР и Западная Сибирь). Распределение количества «косо́го дождя» обусловлено совместным распределением сумм жидких осадков и скоростей ветра. В связи с этим в разных районах страны преобладающим оказывается один или другой из этих факторов.

Раздел 4 посвящен оценке влияния ожидаемого изменения климата на количество «косо́го дождя» на территории России к середине XXI века. Как следует из формулы (2), количество «косо́го дождя» определяется количеством осадков на горизонтальную поверхность, скоростью ветра при дожде и интенсивностью осадков. Для прогнозных оценок использованы данные об ожидаемом изменении количества осадков и температуры воздуха по сезонам года к середине XXI века, полученные по ансамблю из 16 моделей МОЦАО по сценарию А2 в отделе динамической метеорологии ГГО. Ожидаемое изменение интенсивности осадков получено следующим способом. В работе [Климат России, 2001] рассмотрена эмпирическая зависимость между средней месячной интенсивностью осадков и средней месячной температурой воздуха. Эта зависимость имеет вид:

$$\lg I = M + NT, \quad (6)$$

где I – средняя месячная интенсивность, мм/мин,

T – средняя месячная температура воздуха $^{\circ}\text{C}$,

M и N – коэффициенты, постоянные для каждого конкретного пункта; они изменяются по территории в зависимости от температурного режима и режима увлажнения. Значения M и N рассчитаны для большинства крупных городов России и приведены в [Климат России, 2001].

Исследования, проведенные Э.Г. Богдановой, показали, что связь между $\lg I$ и T характеризуется большими значениями коэффициентов корреляции (в основном, превышающими 0,97). С использованием этой связи в диссертационной работе рассчитаны изменения средней месячной интенсивности осадков на основе ожидаемых изменений средней месячной температуры воздуха в различных регионах России по сценарию А2. Расчет изменения интенсивности был произведен на основе формулы (6) следующим образом:

$$I_2 / I_1 = 10^{N(T_2 - T_1)} \quad (7)$$

где I_1 – интенсивность, отмечаемая в настоящее время, мм/мин,

I_2 – интенсивность, ожидаемая к середине 21 века, мм/мин,

$T_2 - T_1$ – изменение температуры, ожидаемое к середине 21 века, $^{\circ}\text{C}$.

На основе полученных данных была построена карта изменения количества «косо́го дождя» (%) к середине XXI века (рис. 15).

На карте видно, что увеличение количества «косо́го дождя» будет происходить относительно плавно с юго-запада на северо-восток.

На юге ЕТР будет наблюдаться уменьшение сумм «косо́го дождя», что связано, прежде всего, с ожидаемым уменьшением годового количества осадков в этом районе. Кроме того, рост температуры будет вызывать увеличение интенсивности осадков, а значит, увеличится и скорость падения капель. Этот

процесс приведет к уменьшению воздействия ветра на осадки и в итоге уменьшит сумму осадков, выпадающих на вертикальную поверхность.

На севере и северо-востоке РФ будет наблюдаться увеличение количества «косого дождя». Очевидно, это объясняется ожидаемым ростом температуры и, следовательно, увеличением доли жидких осадков в годовой сумме.

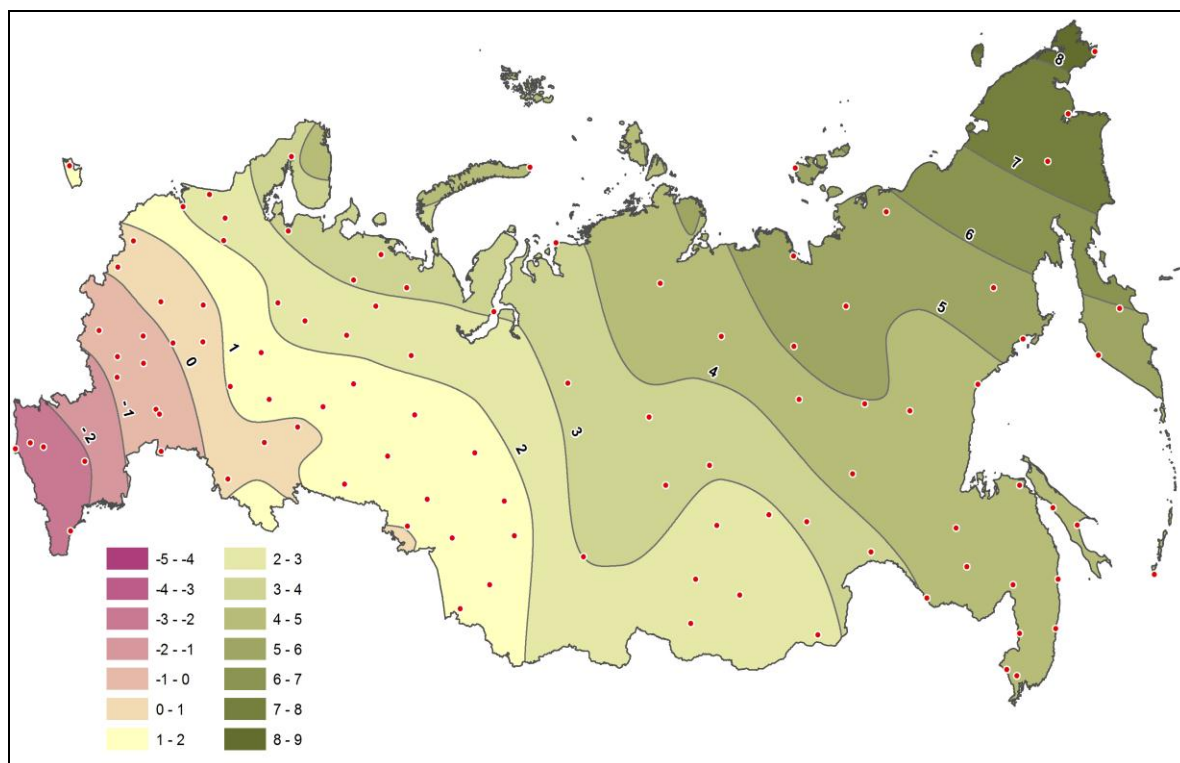


Рис.15. Ожидаемое изменение годового количества «косого дождя» по данным ансамбля из 16 моделей (МОЦАО) к середине XXI века (%) на территории РФ

Надо отметить, что прогностические оценки изменения «косого дождя», представленные на рис. 15, носят сугубо ориентировочный характер. В Оценочном докладе "Изменение климата на территории Российской Федерации", том 1 (2008) приведены межмодельные стандартные отклонения количества осадков зимой и летом к 2041–2060 гг., рассчитанные для федеральных округов и крупных регионов России по ансамблю из 16 МОЦАО СМIP3 по сценарию A2. Это данные показывают, что значимые изменения сумм осадков, а, следовательно, и «косых дождей», ожидаются только на севере ЕТР и Западной Сибири, а также на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока. Таким образом, на значительной части территории России приведенные данные надо рассматривать только как наиболее вероятные тенденции изменения количества «косого дождя».

В четвертой главе рассматривается влияние осадков различной интенсивности на гидрологический режим болот.

Уровень воды в торфяных болотах – один из основных факторов, влияющих на возникновение и распространение лесных пожаров. Естественные болота обычно характеризуются достаточно высоким уровнем воды, но изменения климата и человеческая деятельность ведет к понижению уровня воды в болотных массивах. Наибольшее влияние на уровень воды в торфе оказывают осадки. Особенно это касается верховых торфяных болот, где

практически отсутствует сток, и осадки являются единственным фактором приходной части водного баланса. Модели изменения климата прогнозируют изменение режима осадков. В соответствии с модельными оценками в Европе и Европейской части РФ в течение летнего периода возможно увеличение засух, однако при этом число дождей с большой интенсивностью может возрасти.

В диссертационной работе проводился анализ влияния дождей различной интенсивности на уровень воды и влагосодержание торфяных болот. Данное исследование осуществилось лично автором при проведении эксперимента в лаборатории Университета г. Гамбург (Германия). Керны для эксперимента были взяты в болотном массиве на севере Германии. Тип болота – верховое сфагновое болото с дождевым питанием. Аналогичные болота широко распространены в Российской Федерации, как на ЕТР, так и в Западной Сибири. Исследуемый болотный комплекс Hartshoper Moor был осушен в середине XX века для сельскохозяйственных целей.

В болоте Hartshoper Moor были взяты 8 кернов размером 30 см в диаметре и 25 см в высоту. Верхний растительный слой болота достаточно однороден и представлен мхом сфагнум, вид *Sphagnum cuspidatum*. Керны были взяты после долгого засушливого периода. Поэтому в начале эксперимента уровень воды был достаточно низким и составлял около 15 сантиметров. В течение всего эксперимента (3 недели) керны находились в парнике с постоянно поддерживаемой температурой около 26 °С и низкой влажностью воздуха.

Половина кернов (4 из 8) были использованы для эксперимента с дождем большей интенсивности. Вторая половина кернов была использована для эксперимента с дождем меньшей интенсивности.

Для создания искусственного дождя применялись две различные насадки на распылитель: диаметром капли 3 мм для сильного дождя и 0.09 мм - для слабого дождя. Интенсивность сильного дождя составила 0.2 мм/мин, слабого – 0.02 мм/мин. Общее количество воды, примененное для дождя сильной и слабой интенсивности за все время эксперимента (3 недели), составило 2.1 литра/кern, что эквивалентно 10 л/м².

Эксперимент с дождем большой интенсивности проводился один раз в неделю (с количеством воды около 700 мм/кern за один день). Эксперимент с дождем малой интенсивности проводился два раза в неделю (с количеством воды около 350 мм/кern за один день). Таким образом, общее количество воды, используемое для сильного и слабого дождя, было одинаково. Уровень воды в кернах измерялся непосредственно после каждого дождя и через 90 минут после его окончания. Кроме этого, уровень воды измерялся один раз в день в те дни, когда дождь не применялся. Влагосодержание кернов измерялось до и после каждого применения дождя.

В ходе эксперимента анализировались 2 параметра – уровень воды и влагосодержание кернов. Изменение уровня воды и влагосодержания в ходе эксперимента представлено на рис. 16.

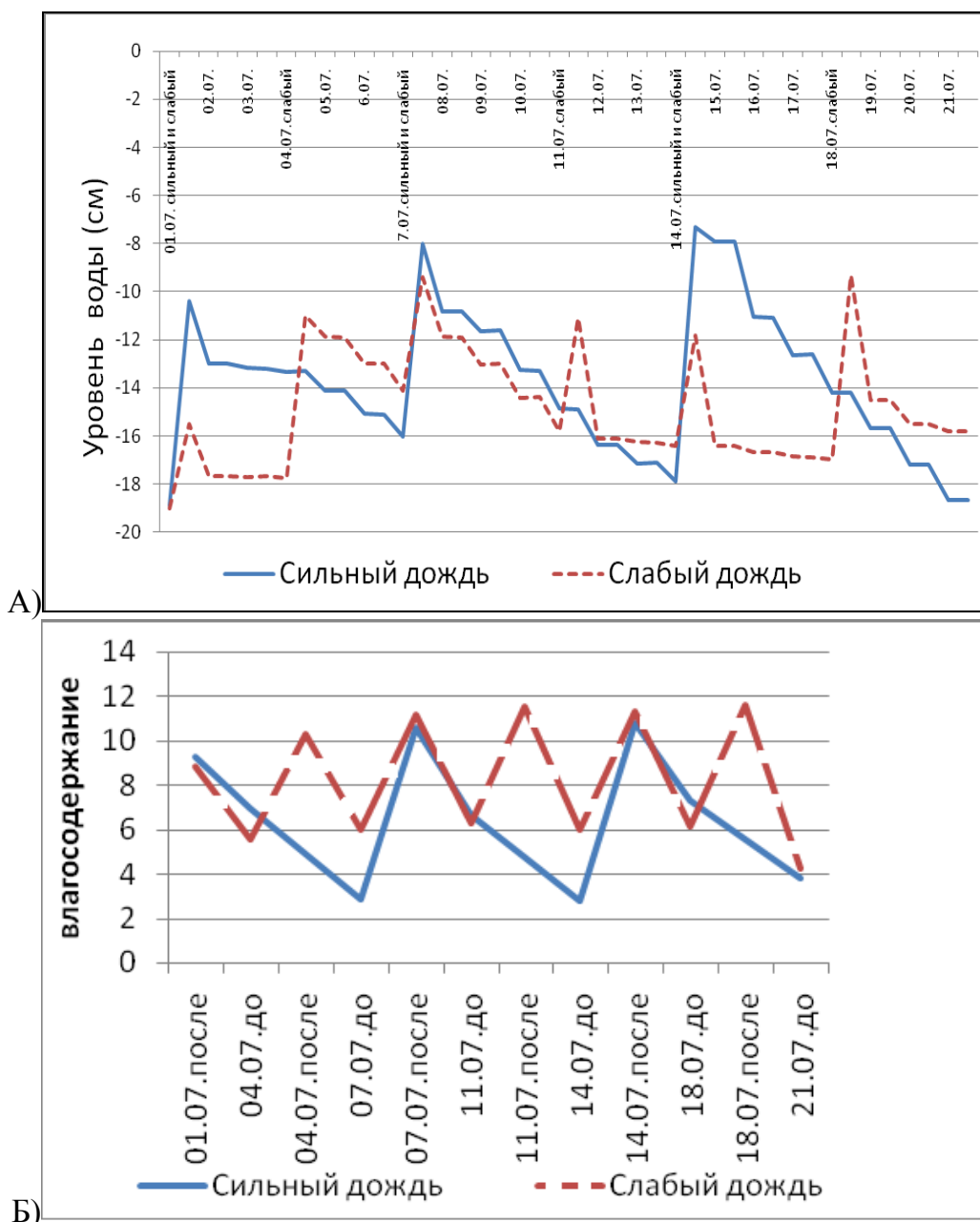


Рис 16. Изменения уровня воды (А) и влагосодержания зернов (Б) в случае дождя большой интенсивности (синяя линия) и малой интенсивности (красная линия).

В результате эксперимента было установлено, что короткий дождь большой интенсивности (0,2 мм/мин) сильнее влияет на уровень воды в зернах, чем продолжительный дождь малой интенсивности (0,02 мм/мин) при одном и том же количестве осадков. Продолжительный дождь малой интенсивности (0,02 мм/мин) больше влияет на влагосодержание зернов, чем короткий дождь большой интенсивности (0,2 мм/мин) при одном и том же количестве осадков. Значимость полученных результатов была проверена с помощью Т-теста Стьюдента для зависимых величин. Т-тест показал, что разница между влиянием дождей различной интенсивности значима.

В заключении работы приведены основные выводы по результатам диссертации и намечены направления дальнейших исследований.

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Адаптирована для применения на территории РФ методика построения эмпирического и теоретического «профилей дождя» в соответствии с рядом зарубежных нормативных документов. Данная методика может быть использована как для климатического обслуживания строительных компаний, так и для актуализации и гармонизации российских СНиП.

2. Проведена апробация методики построения эмпирического и теоретического «профилей дождя» на примере двух городов РФ – Санкт-Петербурга и Владивостока.

3. Проанализированы существующие методики расчета годового количества «косого дождя», и выбрана оптимальная методика. Усовершенствована методика расчета количества «косого дождя» по всем направлениям и на стену заданной ориентации.

4. Построены карты количества и интенсивности «косого дождя» на территории России с учетом обновленных данных о режиме осадков.

5. Произведена оценка ожидаемого изменения количества «косого дождя» к середине XXI века на территории РФ.

6. Проведены экспериментальные исследования влияния осадков различной интенсивности на уровень воды и влагосодержание торфяных болот и проанализированы их результаты.

Основные работы и публикации в реферируемых изданиях по теме диссертации:

1. Иванова Е. В. Расчет «профиля дождя» для проектирования систем водоотведения. // Труды ГГО, 2010, вып. 562. С. 118-127

2. Иванова Е. В. Специализированные характеристики интенсивности осадков, применяемые в ЕС для проектирования систем отведения дождевых вод./Иванова Е. В., Ницис В.Э // Труды ГГО, 2011. вып. 563. (в печати)

3. Иванова Е.В. Оценка влияния ожидаемого к середине XXI века изменения климата на потенциал гидроэнергетики (на примере Архангельской области)/ Акентьева Е.М., Иванова Е.В. //Труды ГГО, 2010, вып. 561 С. 115-123