

к.г.н., доц. Клименко Дмитрий Евгеньевич

**РАСЧЕТЫ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ,
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ЦЕЛЕЙ
СТРОИТЕЛЬНОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

ТЕМА №2.

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИВНЕВЫХ ОСАДКОВ

Министерство природных ресурсов и экологии
Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова
(ГУ «ГГО»)

**РУКОВОДСТВО
ПО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМУ
КЛИМАТОЛОГИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ
ЭКОНОМИКИ**

Под редакцией д-ра геогр. наук,
профессора Н. В. Кобышевой

Санкт-Петербург
2008

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР РОСГИДРОМЕТА



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ИМ. А. И. ВОЕЙКОВА»



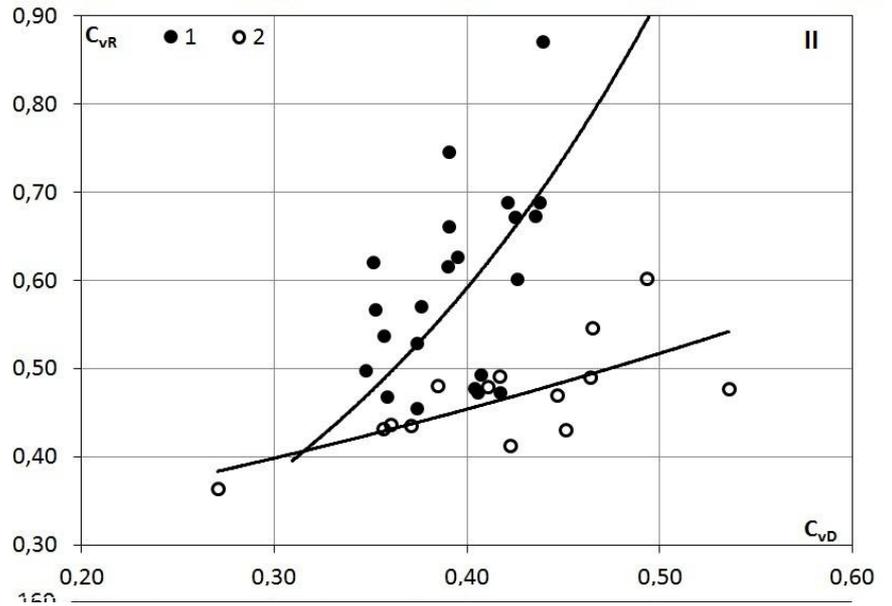
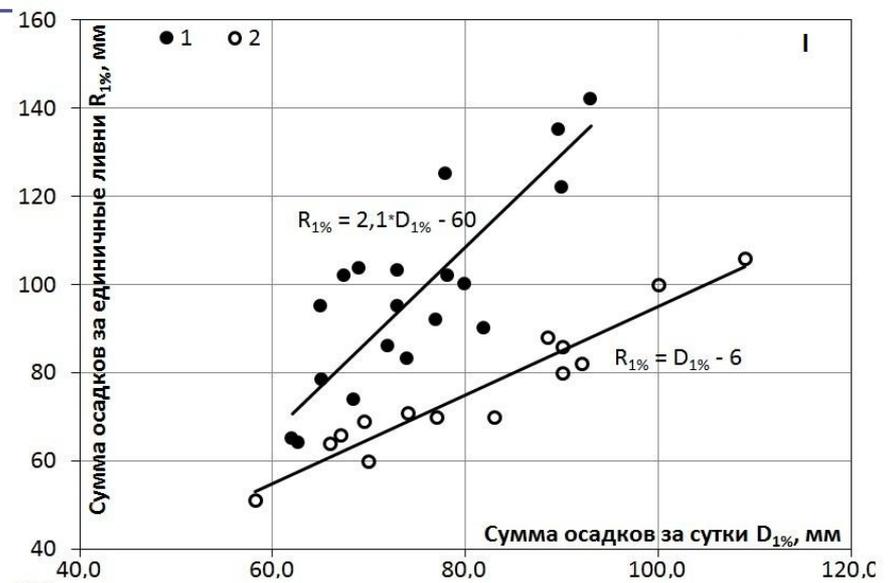
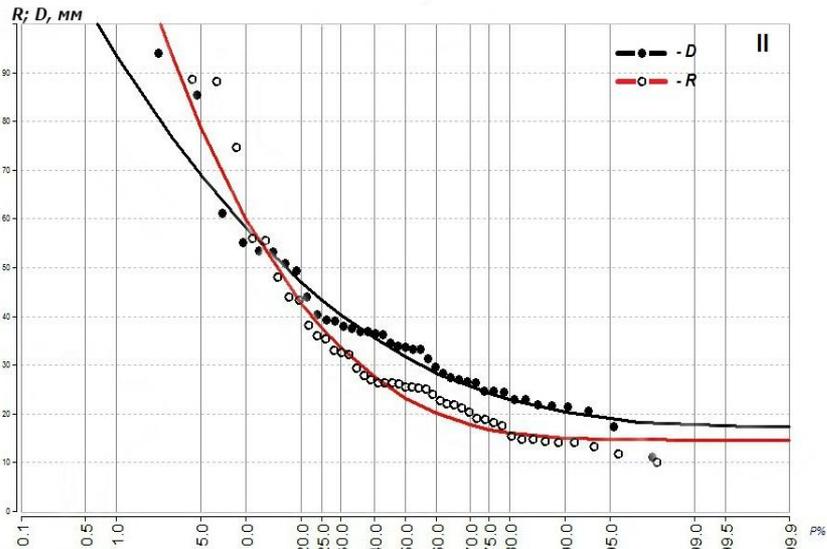
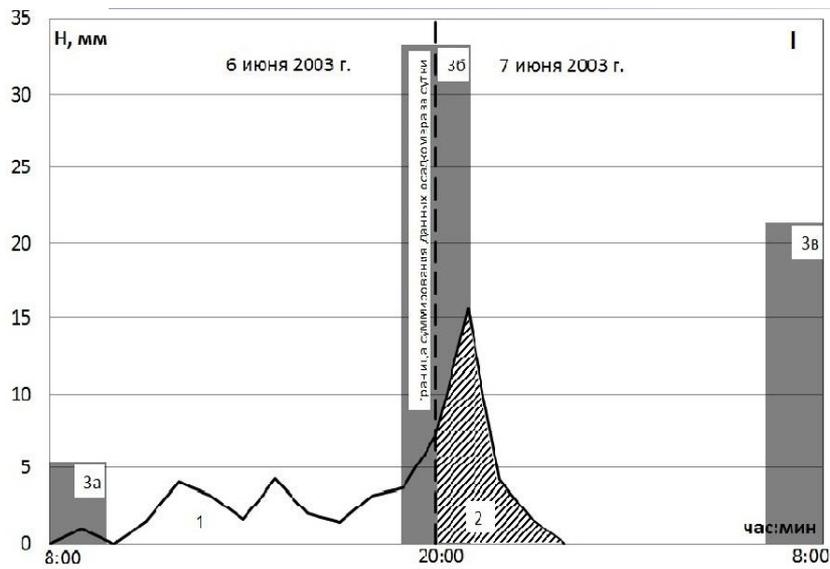
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

**по расчету специализированных климатических характеристик
для обслуживания различных отраслей экономики**

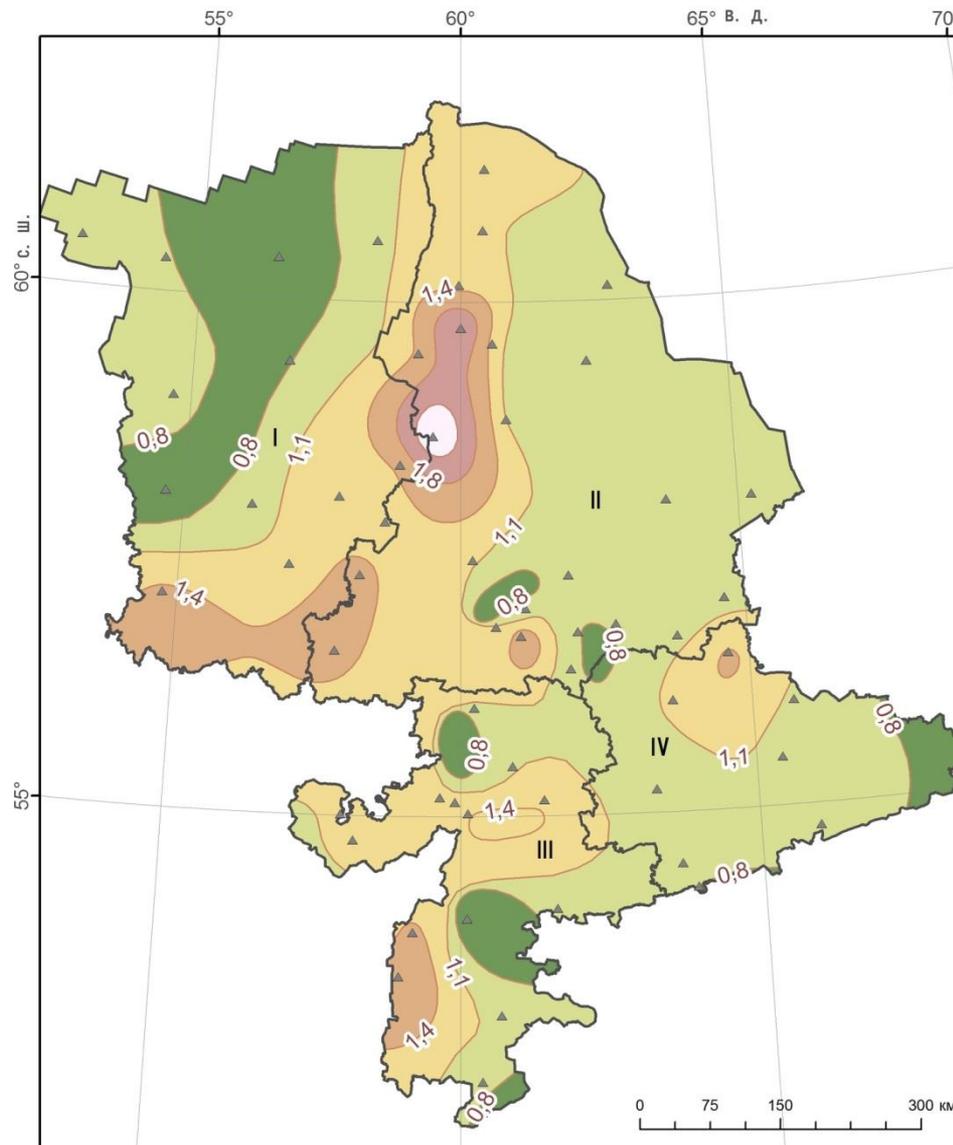
**Строительство
Транспорт**

Санкт-Петербург
2017

Немного теории



Немного теории (соотношение сумм осадков за метеорологические сутки и за некалендарные 24 часа)

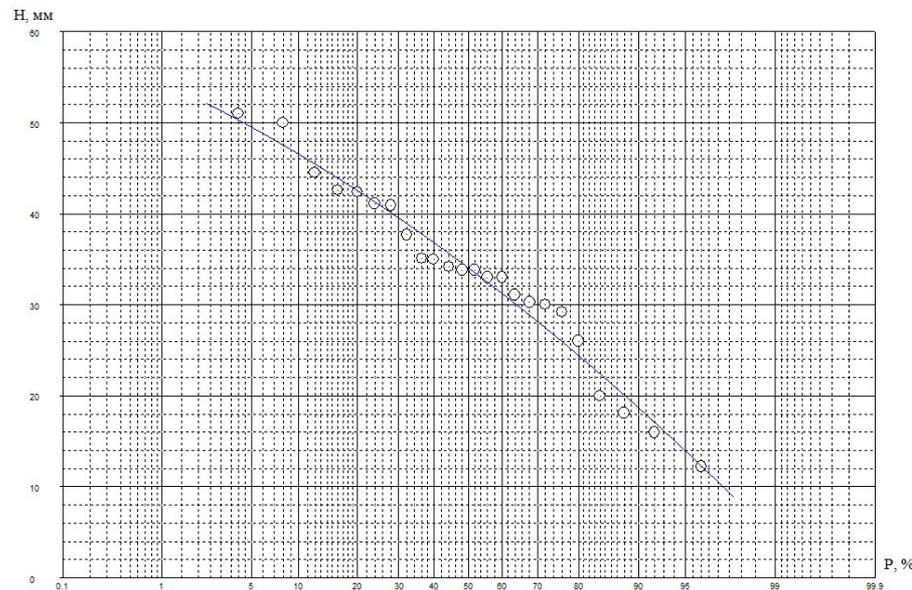


1. Расчет суточного максимума осадков

Исходными данными для расчета суточного максимума осадков различной обеспеченности служит ряд годовых суточных максимумов осадков. Надо отметить, что в справочниках по климату приведены значения суточных максимумов, рассчитанные за метеорологические сутки. Для решения прикладных задач необходимо опираться на величину суточных максимумов, определенную за 24 часа. Максимумы за 24 часа превышают значения за метеорологические сутки в среднем на 10—30 %. Для получения более надежных результатов необходимо сформировать ряды годовых суточных максимумов, полученных за 24 часа, скользящим суммированием данных плевниографа или (при его отсутствии) осадкомера.

Для аппроксимации статистического распределения полученного ряда суточных максимумов на практике наиболее часто используются логарифмически-нормальное распределение (нормальное распределение логарифмов переменной) и трехпараметрическое гамма-распределение. Для выбора того или иного типа распределения необходимо рассчитать коэффициенты асимметрии A_x и вариации C_v рассматриваемого ряда. Эти характеристики можно легко получить, пользуясь программой Excel.

При $A_x \geq 3C_v$ для аналитического выражения кривых обеспеченности суточных максимумов осадков обычно применяется логарифмически-нормальное распределение. При $A_x = 2C_v$ — трехпараметрическое биномиальное гамма-распределение Пирсона 3 типа. При $A_x < 2C_v$ — трехпараметрическое гамма-распределение Крицкого—Менкеля.



2. Расчеты параметров «профиля» дождя

Для расчета профиля дождя на первой стадии работы проводится выборка годовых максимумов интенсивности осадков по данным плювиографа 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 в заданном пункте за период не менее 30 лет. Данные временные интервалы связаны с различным временем дотекания дождевой воды до коллектора с различных частей дренируемой территории.

За каждый год для каждого интервала продолжительности выбирается один максимум интенсивности из всех дождей данного года. Таким образом, формируются ряды годовых максимумов интенсивности для каждого временного интервала.

Следующим этапом работ является выбор оптимального статистического распределения, позволяющего наиболее точно определить значения интенсивности осадков за указанные временные интервалы, возможные 1 раз в 2, 5, 20, 30, 100, 200 лет. Проведенные исследования показали, что эту задачу можно решить с помощью пакета программ STATISTICA. Наиболее подходящими распределениями чаще всего оказываются логнормальное распределение, трехпараметрическое гамма-распределение, распределение Пирсона III типа, а также распределения экстремальных величин (Гумбеля или Фреше).

2. Расчеты параметров «профиля» дождя

На основании полученных рядов годовых максимумов интенсивности осадков в различные временные интервалы с использованием выбранного статистического распределения рассчитываются значения интенсивности осадков с обеспеченностями 50, 80, 95, 96,7, 99 и 99,5 %. Выбор соответствующей обеспеченности зависит от характера объекта, условий расположения коллектора, а также последствий, которые могут быть вызваны выпадением дождей, превышающих расчетные. В качестве примера в таблице 5.22 представлены интенсивности дождей и количества осадков за указанные интервалы времени в Санкт-Петербурге, полученные по указанной методике. Верхние части таблицы содержат значения интенсивности, а нижние — суммы осадков, полученные умножением соответствующих значений интенсивности на длительность интервала времени. Рассчитанные таким образом суммы осадков служат основой для построения теоретического профиля дождя, характерного для данного района.

2. Расчеты параметров «профиля» дождя

Интенсивность и количество осадков за различные промежутки времени повторяемостью 1 раз в 2, 5, 20, 30, 100 и 200 лет. Санкт-Петербург

Период повторения, годы	Обеспеченность Р, %	Средняя интенсивность осадков, мм/мин, в указанные интервалы времени, мин																	
		10	15	20	30	60	120	240	360	480	960	1440	2160	2880	4320	5760	7200	8640	10080
2 года	0,50	0,65	0,55	0,44	0,34	0,24	0,15	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
5 лет	0,80	0,93	0,78	0,63	0,49	0,36	0,22	0,13	0,09	0,07	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
20 лет	0,95	1,30	1,08	0,90	0,69	0,51	0,31	0,17	0,13	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
30 лет	0,97	1,41	1,17	0,97	0,74	0,56	0,34	0,18	0,14	0,11	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
100 лет	0,99	1,73	1,43	1,21	0,92	0,70	0,42	0,22	0,17	0,13	0,08	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03
200 лет	1,00	1,93	1,58	1,34	1,02	0,79	0,47	0,24	0,19	0,15	0,09	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
		Количество осадков, мм, выпавшее за указанные интервалы времени, мин																	
		10	15	20	30	60	120	240	360	480	960	1440	2160	2880	4320	5760	7200	8640	10080
2 года	0,50	6,52	8,24	8,78	10,28	14,59	17,91	22,32	23,92	22,59	29,04	33,00	38,73	42,06	47,77	56,78	60,50	67,74	62,66
5 лет	0,80	9,29	11,64	12,66	14,67	21,41	26,06	30,40	33,65	33,00	41,67	47,63	57,08	64,20	75,62	99,45	113,75	140,52	114,97
20 лет	0,95	13,02	16,19	17,94	20,60	30,89	37,27	40,83	46,62	47,37	58,81	67,59	82,65	96,12	117,22	144,00	165,60	190,08	205,17
30 лет	0,97	14,10	17,50	19,47	22,31	33,67	40,54	43,77	50,34	51,57	63,78	73,40	90,17	105,69	129,97	161,28	180,00	207,36	235,13
100 лет	0,99	17,34	21,42	24,12	27,47	42,16	50,48	52,45	61,47	64,37	78,78	90,97	113,14	135,36	170,04	207,36	252,00	293,76	335,37
200 лет	1,00	19,26	23,73	26,88	30,52	47,24	56,42	57,48	68,01	72,02	87,67	101,41	126,92	153,44	194,85	247,68	302,40	354,24	401,46

3. Последовательность расчетов кривых редукции дождя

Обработка данных плевниографа (Златоуст)

год	дата	время (ч.м.)	количество осадков от начала дождя, мм	интенсивность дождя за интервал времени, мм/мин	Время (мин)
Златоуст		15:35	0,0		0
		15:41	1,3	0,22	6
1961	26.июн	15:43	3,1	0,90	8
		15:44	3,2	0,10	9
		15:47	4,6	0,47	12
		15:50	4,8	0,07	15
		16:02	4,8	0,00	27
		16:05	5,0	0,07	30
		16:07	5,4	0,2	32
		16:11	6,0	0,15	36
		16:16	8,8	0,56	41
		16:19	9,6	0,27	44
		16:39	9,8	0,01	64
		16:41	10,1	0,15	66

СЯС 6 Год 2007 Вып. 9

число	время, часы, мин	кол-во осадков от начала дождя, мм	интенсивность дождя за интервал, мм/мин	
				77. Верхний уфалей
23	9 10	0,0		
	9 20	1,9	0,19	
	9 30	8,5	0,66	
	9 40	17,5	0,90	
	9 50	26,8	0,93	
	10 10	27,0	0,01	
	10 20	27,9	0,09	
	10 30	28,0	0,01	
	10 32	28,0	0,00	
	1 22		28,0	0,34
	77. Челябинск, город			
	15 16	14 10	0,0	
		14 20	1,7	0,17
		14 30	4,5	0,28
14 40		9,3	0,48	
14 50		12,6	0,33	
15 10		14,0	0,07	
15 50		14,5	0,01	
16 0		16,0	0,15	
16 2		16,1	0,05	
1 52		16,1	0,14	
27		9 3	0,0	
		9 10	0,9	0,13
		9 20	7,9	0,70
		9 30	12,3	0,44
	9 40	22,0	0,97	
	9 50	23,3	0,13	
	10 0	23,3	0,00	
	10 10	23,6	0,03	
	10 30	23,6	0,00	
	11 0	24,3	0,02	
	11 57	24,6	0,01	
	2 54		24,6	0,14
	81. Челябинск, город			
	23	10 28	0,0	
10 30		0,6	0,30	
10 40		8,0	0,74	
10 50		12,5	0,45	
11 0		14,1	0,16	
11 20		16,5	0,12	
11 30		17,5	0,10	
11 40		18,2	0,07	
12 0		18,8	0,03	
12 10		18,9	0,01	
1 42		18,9	0,19	

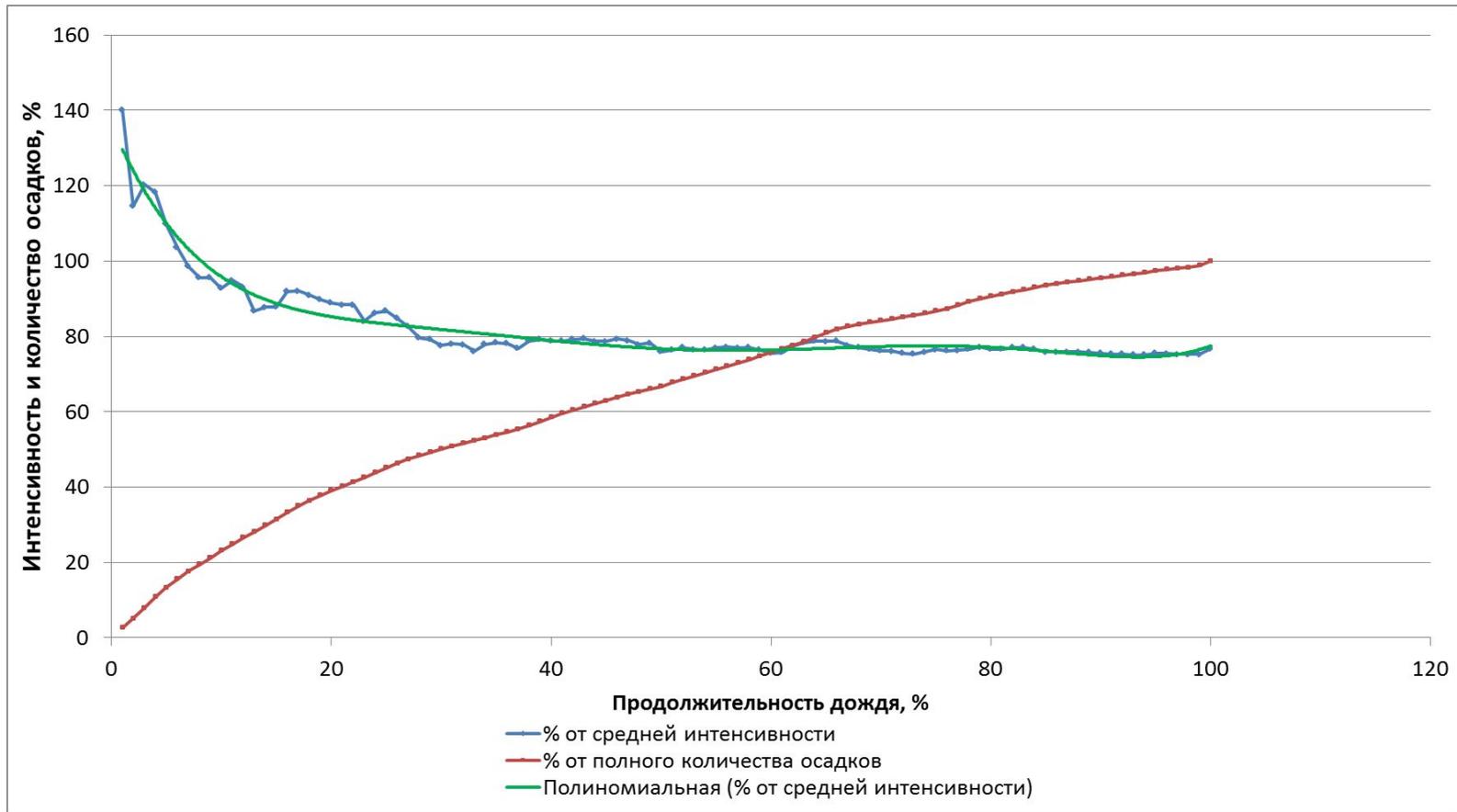
3. Последовательность расчетов кривых редукции дождя

Расчетные максимальные интенсивности для максимальных по интенсивности ливней за интервалы времени по метеостанции Златоуст и статистические параметры распределения данных

№ п/п	Дата ливня	Сумма осадков за ливень, мм	Общая продолжительность, мин	Расчетная максимальная интенсивность ливня (мм/мин) за интервалы, в минутах									
				5	10	20	40	60	90	150	300	720	1440
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	08.09.1962	12.5	197	0,38	0,28	0,19	0,12	0,11	0,10	0,10			
2	04.07.1963	19.5	337	0,40	0,36	0,31	0,24	0,21	0,19	0,16	0,12		
3	06.06.1964	21	138	0,98	0,95	0,86	0,70	0,59	0,48	0,34			
4	16.06.1965	10.8	310	0,13	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,06		
5	13.08.1966	57.5	130	1,50	1,46	1,16	0,91	0,83	0,79	0,61			
6	21.07.1967	10.5	372	0,12	0,12	0,11	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05		
7	11.07.1968	23.8	29	2,76	2,25	1,85							
27	26.07.1993	18.9	37	1,34	1,28	1,11	0,80						
28	02.08.1994	33.4	165	0,59	0,58	0,56	0,53	0,51	0,46	0,38			
Сред				0,89	0,82	0,65	0,43	0,35	0,29	0,21	0,08	-	-
Cv				0,84	0,81	0,77	0,60	0,64	0,70	0,70	0,44	-	-
Cs				1,10	0,99	1,15	0,27	0,71	1,173	1,54	1,49	-	-
Cs/Cv				1,31	1,23	1,50	0,44	1,12	1,67	2,20	3,39	-	-

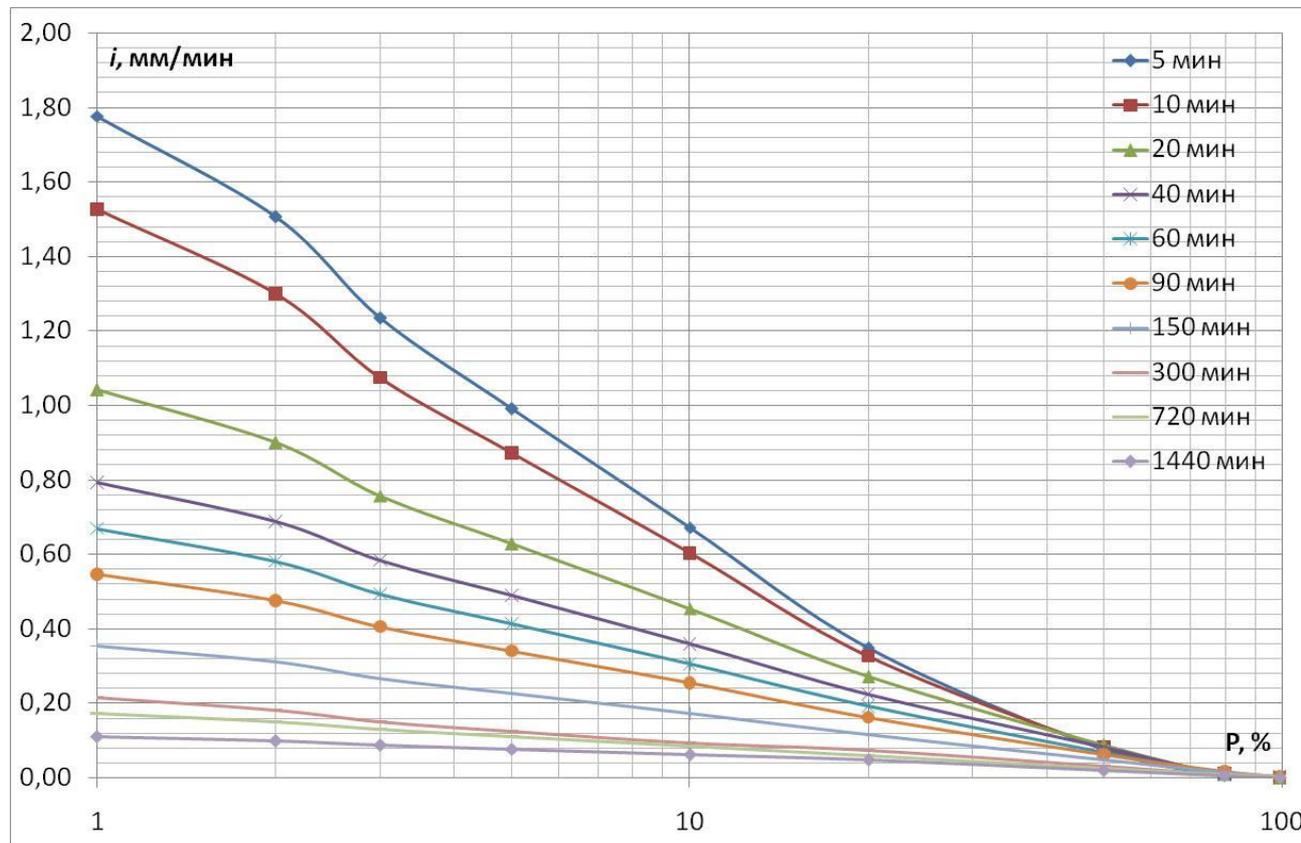
3. Последовательность расчетов кривых редукции дождя

Эмпирический профиль дождя



3. Последовательность расчетов кривых редукции дождя

Теоретические кривые обеспеченности максимальной интенсивности ливня за интервалы времени по метеостанции Екатеринбург (Свердловск)



3. Последовательность расчетов кривых редукции дождя

Параметры кривых редукции ливневых осадков по метеостанции Златоуст

Статистические параметры распределения				Интенсивность ливня различной обеспеченности i , мм/мин				
Средняя интенсивность, мм/мин	C_v	C_s/C_v	Интервалы времени, мин					
				$i_{1\%}$	$i_{2\%}$	$i_{3\%}$	$i_{5\%}$	$i_{10\%}$
0.89	0.84	1.31	5	2.93	2.75	2.55	2.35	2.00
0.82	0.81	1.23	10	2.62	2.45	2.28	2.10	1.80
0.65	0.77	1.50	20	2.01	1.88	1.75	1.61	1.38
0.43	0.60	0.44	40	1.02	0.98	0.94	0.88	0.80
0.35	0.64	1.12	60	0.94	0.88	0.82	0.76	0.66
0.29	0.70	1.67	90	0.95	0.86	0.77	0.68	0.56
0.21	0.70	2.20	150	0.70	0.63	0.57	0.50	0.41
0.04	0.65	2.71	300	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07
0.03	0.62	3.54	720	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04
0.02	0.77	2.10	1440	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04

4. Расчеты параметров теоретического профиля дождя

Теоретический профиль дождя отражает не наблюдаемое, а расчетное распределение интенсивности осадков внутри рассматриваемых интервалов времени.

$$Y = (1 - a^z)/(1 - a),$$
$$Z = x^b,$$

где Y — доля суммы осадков за данный интервал времени (например, за 15 мин); x — доля данного интервала времени (например, 1 мин), т. е. 1/15 или 0,066; a и b — эмпирические коэффициенты, отражающие степень урбанизированности территории.

Городские территории отличаются от сельской местности степенью покрытия поверхности земли асфальтом, изменяющим условия формирования стока дождевых вод с дренируемой территории. В среднем для городских территорий $a = 0,1$, $b = 0,815$, для сельской местности $a = 0,06$, $b = 1,026$, т. е. различие этих коэффициентов при расчете теоретического «профиля дождя» для городской и сельской территории обусловлено различием условий для формирования дождевого стока.

4. Расчеты параметров теоретического профиля дождя

Использование формулы (5.54) позволяет распределить суммы осадков из таблицы 5.22 в соответствии с выбранным временным разрешением (для 15-минутного интервала это 1 минута, для более длительных интервалов — это 10 минут, 1 час, 4 часа и т. д. в зависимости от требований заказчика). В результате создается теоретическое распределение интенсивности осадков внутри каждого указанного интервала времени.

Пример расчета значений x и y для 15-минутного интервала в интегральной (Y) и дифференциальной (D) форме представлен в таблице 5.23 и на рисунке 5.6.

Значение x для первой минуты составляет $1/15$, для второй минуты $2/15$ и т. д. Значения Z и Y рассчитываются по формулам (5.55) и (5.54).

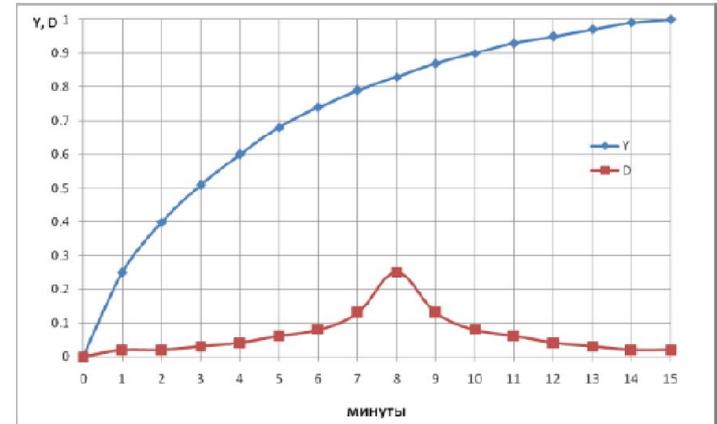


Рисунок 5.6. Распределение долей суммы осадков за 15-минутный интервал в интегральной (Y) и дифференциальной (D) форме.

4. Связь между вероятностью дождя и периодом однократного превышения

Как видно, изменения D симметричны относительно максимального значения, отмечаемого на 8-й минуте (D_8), а максимальное значение D равно величине Y на первой минуте (Y_1). Расчет остальных значений D происходит следующим образом: $D_7=D_9=(Y_3-Y_1)2/$; $D_6=D_{10}=(Y_5-Y_3)2/...$
 $D_2=D_{14}=(Y_{13}-Y_{11})2/$; $D_1=D_{15}=(Y_{15}-Y_{13})2/$.

Таблица 5.23

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

Характеристика	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	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
D	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

Таблица 5.24

Расчетное количество осадков, выпадающее в каждую минуту 15-минутного интервала, мм

Период повторения	минуты															Сумма осадков за 15 мин
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2 года	0,13	0,18	0,24	0,33	0,47	0,69	1,11	2,08	1,11	0,69	0,47	0,33	0,24	0,18	0,13	8,24
5 лет	0,24	0,32	0,42	0,58	0,82	1,21	1,95	3,67	1,95	1,21	0,82	0,58	0,42	0,32	0,24	11,64
20 лет	0,37	0,49	0,66	0,91	1,28	1,89	3,05	5,73	3,05	1,89	1,28	0,91	0,66	0,49	0,37	16,19
30 лет	0,40	0,53	0,72	0,98	1,39	2,04	3,30	6,19	3,30	2,04	1,39	0,98	0,72	0,53	0,40	17,50
100 лет	0,52	0,69	0,93	1,27	1,80	2,64	4,27	8,01	4,27	2,64	1,80	1,27	0,93	0,69	0,52	21,42
200 лет	0,55	0,74	0,99	1,36	1,92	2,82	4,57	8,57	4,57	2,82	1,92	1,36	0,99	0,74	0,55	23,73

Благодарю за внимание!