

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

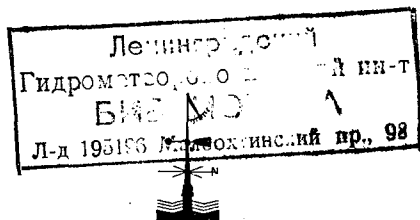
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ им. А. И. ВОЕЙКОВА

ТРУДЫ

ВЫПУСК 341

280846
АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ
МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЕТОВ

Под редакцией
канд. физ.-мат. наук Л. Р. СТРУЗЕРА



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
ЛЕНИНГРАД • 1975

Сборник содержит работы по методике измерения атмосферных осадков, корректировке их измеренных величин, методам обработки осадкомерных данных в климатологических обобщениях и работах прикладного характера.

Сборник рассчитан на специалистов метеорологов и гидрологов, а также специалистов смежных дисциплин. Он полезен студентам географических специальностей университетов, гидрометеорологических, сельскохозяйственных, гидротехнических и гидромелиоративных вузов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИДКИХ ОСАДКОВ В ГОРАХ (КАВКАЗ, БАССЕЙН р. БАКСАН)

При измерении осадков на равнинной территории приемная поверхность стандартного осадкомера параллельна земной поверхности. Если бы на осадкомер не действовали факторы, искажающие его показания (ветер, испарение и т. п.), то установленный таким образом прибор показывал бы то количество осадков, которое выпадает на участок земной поверхности, равный по площади приемной поверхности осадкомера.

В горной местности обнаруживается несоответствие между измеренными осадками и увлажнением склонов. Пренебрегать этим различием нельзя, так как, например, только в Кабардино-Балкарии более 60% сельскохозяйственных угодий расположены на склонах, и для расчета их влагообеспеченности необходимо знать количество осадков, выпадающих на реальную поверхность склона. Эти осадки обычно называются склоновыми.

Практически можно было бы расставить по склонам большое количество так называемых наклонных дождемеров и таким образом получить величины склоновых осадков. Однако в горах обслуживание такой осадкомерной сети связано с большими трудностями. Поэтому возникли попытки определения склоновых x_c и гидрологических x_r осадков по данным сетевых осадкомерных пунктов. (Гидрологическими осадками называют количество осадков, приходящееся на горизонтальную проекцию склона.) Для расчета склоновых и гидрологических осадков необходимо знать не только уклон α и азимут A склона, но и наклон β и азимут C траекторий дождевых капель, так как расчетные формулы (см., например [4]) имеют вид:

$$x_c = x \cos \alpha [1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta \cos (A - C)], \quad (1)$$

$$x_r = x [1 + \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta \cos (A - C)]. \quad (2)$$

Здесь x — количество осадков, измеренное вертикальным дождемером; их иногда называют метеорологическими осадками. Ниже

ради краткости будем называть величины β и C наклоном и азимутом дождя.

Необходимость введения в расчетные формулы значений азимута C и наклона дождя β заставила многих исследователей [5—7] создавать для определения этих параметров специальные приборы, называемые вектоплювиометрами. Несмотря на разнообразие конструкций, все они представляют собой устройства, имеющие несколько наклонных дождемеров, приемные отверстия которых ориентированы в разные стороны.

Рассмотрение различных систем вектоплювиометров показывает, что для определения указанных параметров дождя необходим вектоплювиометр, имеющий, как минимум, три наклонных дождемера.

Если наклон γ (угол между вертикалью и нормалью к плоскости приемного отверстия) всех трех дождемеров одинаков, т. е. $\gamma^{(1)} = \gamma^{(2)} = \gamma^{(3)} = \gamma$, а азимуты ψ отличаются друг от друга на 120° , причем $\psi^{(1)} = 0^\circ$, $\psi^{(2)} = 120^\circ$, $\psi^{(3)} = 240^\circ$ (индекс в скобках означает номер дождемера вектоплювиометра), то при некоторых β и C в каждый дождемер должны попасть количества осадков $q^{(1)}$, $q^{(2)}$, $q^{(3)}$, определяемые по соотношениям:

$$\begin{aligned} q^{(1)} &= x \cos \gamma (1 + \operatorname{tg} \gamma \operatorname{tg} \beta \cos C), \\ q^{(2)} &= x \cos \gamma \left[1 + \operatorname{tg} \gamma \operatorname{tg} \beta \left(-\frac{1}{2} \cos C + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin C \right) \right], \\ q^{(3)} &= x \cos \gamma \left[1 + \operatorname{tg} \gamma \operatorname{tg} \beta \left(-\frac{1}{2} \cos C - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin C \right) \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Разрешая систему (3) относительно β и C , получаем:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2}{\operatorname{tg} \gamma} \sqrt{1 - \frac{3(q^{(1)}q^{(2)} + q^{(2)}q^{(3)} + q^{(1)}q^{(3)})}{(q^{(1)} + q^{(2)} + q^{(3)})^2}}, \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} C = \sqrt{3} \frac{q^{(3)} - q^{(2)}}{(q^{(3)} - q^{(1)}) + (q^{(2)} - q^{(1)})}. \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) являются основными для расчета азимута и наклона дождя по показаниям дождемеров вектоплювиометра в месте нахождения прибора. Разрешая ту же систему уравнений относительно x , получаем расчетное количество метеорологических осадков

$$x_p = \frac{q^{(1)} + q^{(2)} + q^{(3)}}{3 \cos \gamma}. \quad (6)$$

Если в установке имеется еще и дождемер с горизонтальным приемным отверстием, то выражение (6) можно использовать для проверки надежности работы вектоплювиометра. Критерием надежности является степень совпадения измеренных значений мете-

орологических осадков x со значениями x_r , рассчитанными по формуле (6).

Все приведенные формулы точны, если помимо характеристик склона α и A известны характеристики траекторий дождя β и C именно в той точке, для которой производятся расчеты x_c и x_r . Если же метеорологические осадки x и характеристики траекторий дождя β и C определяют в каком-то одном месте, а расчет производят для другого участка бассейна, то приходится прибегать к иным способам определения x , β и C в этом другом месте. В большинстве работ климатологического или водно-балансового направления (см., например, [2—4]) используют предположение, согласно которому в каждый данный момент траектории дождевых капель параллельны и прямолинейны над всем водосбором, т. е. x , β и C одинаковы и над местом расположения вектоплювиометра, и над точкой бассейна, для которой производится расчет x_c и x_r .

Заметим, что в некоторых случаях [4] β и C определяют не вектоплювиометром, а еще более грубым способом. Ориентацию траекторий падения осадков C считают совпадающей с направлением ветра, а наклон β вычисляют по скорости ветра и среднему значению равновесной скорости падения капель дождя, которая, как известно, зависит от их размера и плотности воздуха. Разумеется, и в этом случае в расчетах используется изложенное предположение о прямолинейности и параллельности траекторий дождевых капель над всем бассейном.

Упомянутое предположение возможно окажется близким к действительности, но лишь в местности с не очень выраженным рельефом (предгорье, среднегорье). Чем больше изрезанность рельефа и перепады высот от дна долины до водораздельной линии, тем хуже выполняется это предположение. В условиях сложного горного рельефа оно и вовсе далеко от действительности, что показано на материале Приэльбрусской экспедиции 1971 г.

С целью изучения поля осадков в горах в Приэльбрусье были предприняты соответствующие экспедиционные исследования.

Район действия экспедиции расположен в центральной части Большого Кавказа и характеризуется ярко выраженными альпийскими формами рельефа — глубоко расчлененные долины, острые пики и гребни, склоны значительной крутизны 20—30°.

На различных склонах долины р. Баксан были организованы пункты наблюдений за осадками, один из них, получивший название Палатка, служил для проведения различных экспериментов методического характера, остальные были устроены одинаково. На каждом пункте имелся вектоплювиометр из трех наклоненных под углом 30° дождемеров, ориентированных по азимуту 180, 300 и 60°. Кроме того, здесь же были установлены вертикальный и склоновый дождемеры, которые измеряли метеорологические и склоновые осадки.

Работа в условиях высокогорья потребовала применения дождемера, отличающегося от применяемых на гидрометеорологиче-

ской сети: 1) труднодоступность мест наблюдения исключала возможность ежедневного обхода этих приборов; 2) необходимо было исключить погрешности стандартных осадкомеров, особенно ветровую ошибку и испарение, которые в горах не исследованы и, по-видимому, могут существенно повлиять на результаты измерений.

В связи с этим был использован пентадный дождемер (рис. 1). Для жесткой установки ведра с требуемой ориентацией по наклону и азимуту внешний кожух 4 крепится в штанге 1, снабженной шарнирной головкой 8, которая позволяет поворачивать ведро вокруг оси штанги и менять угол наклона оси ведра к оси штанги.

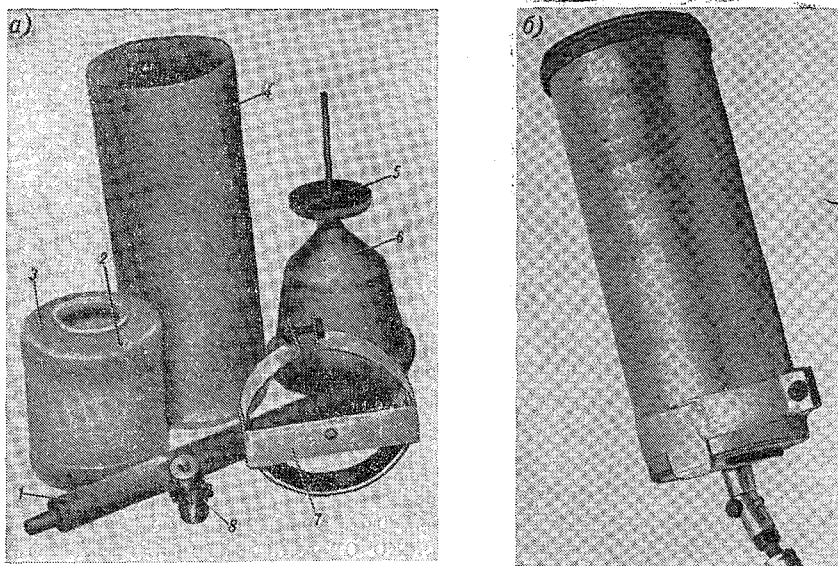


Рис. 1. Пентадный дождемер в разобранном (а) и собранном (б) виде.

Необходимая ориентация ведра достигается с помощью специального шаблона, снабженного круглым уровнем и отвесами. В кожух, положение которого в пространстве жестко зафиксировано держателем 7, вставляется пластмассовый водосборный сосуд 3 и воронка 6. Для уменьшения потерь на испарение сливное отверстие 2 сосуда перекрывается крышкой 5, жестко посаженной на отводную трубку воронки 6.

Потери на смачивание суммарного дождемера складываются из потерь на смачивание воронки и водосборного сосуда. Опыты показали, что эти потери почти целиком определяются смачиванием стенок воронки, так как внутренние стенки водосборного сосуда, закрытого крышкой, остаются постоянно смоченными. Потери на смачивание воронки составляют 0,1 мм за один дождь. За пять дней в среднем выпадало два дождя. При средней сумме осадков за

пентаду около 20 мм ошибка на двукратное смачивание составляет, следовательно, около 1%.

Опыты по исследованию испарения из суммарных дождемеров показали, что интенсивность испарения не превышает 0,033 мм/ч при малом количестве воды (до 3,0 мм осадков). Если пластмассовый водосборный сосуд суммарного дождемера заполнен водой настолько, что трубка воронки находится в воде, то испарение практически отсутствует.

Таким образом, при значительных осадках испарением можно пренебречь, тогда как при малых осадках оно может составить

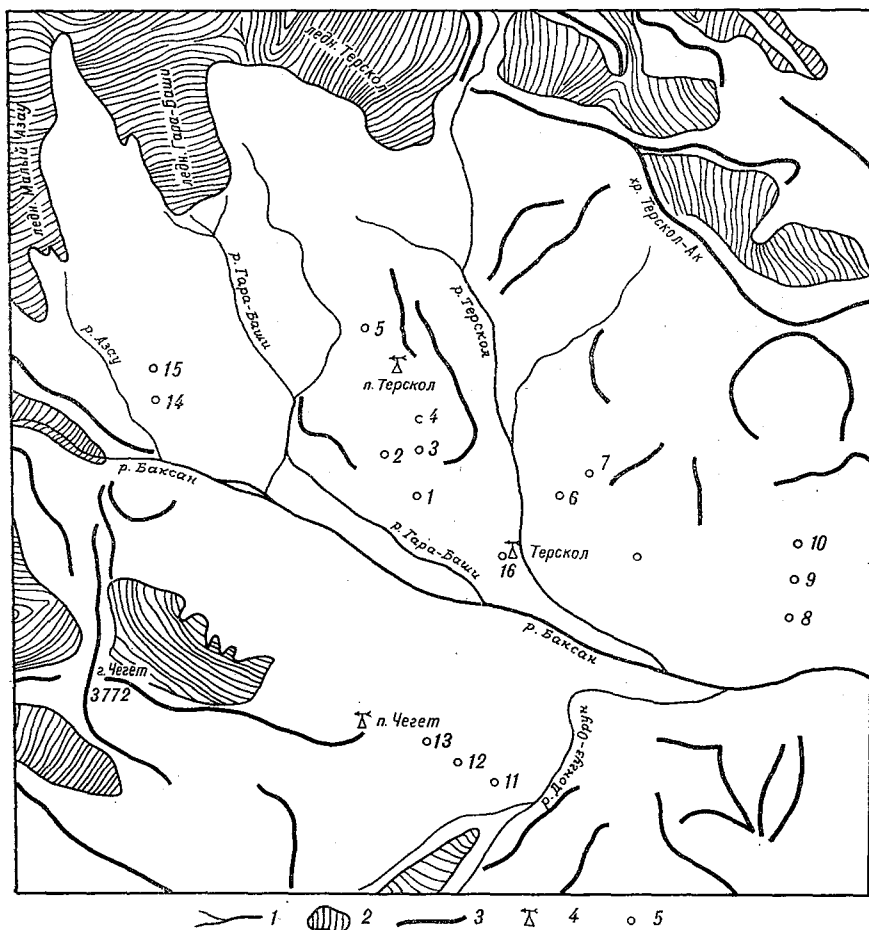


Рис. 2. Схема расположения осадкомерных кустов в районе поселка Терскол.
1 — реки, 2 — ледники, 3 — водоразделы, 4 — метеостанции, 5 — осадкомерные пункты.
Числа у пунктов — их номера в соответствии с табл. 1.

значительную часть от измеренной суммы, а потому надежность сумм осадков в 1—2 мм за период вызывает сомнение.

Для исключения ветровой погрешности все дождемеры устанавливались в яме диаметром 1,5 м, что достаточно для устранения возможного забрызгивания. Сравнение результатов измерений двух ямочных дождемеров, один из которых был закрыт решеткой, дало, что разница в их показаниях находится в пределах ошибки наблюдений; за сезон она составляла 1,2 мм. Следовательно, при установке дождемеров в яме такого диаметра на гор-

Таблица 1

Перечень маршрутов и пунктов наблюдений

Номер пункта	Название пункта	Высота над ур. м., м	Азимут склона А, град.	Уклон склона α, град.
Маршрут Терскол				
1	Склон	2400	180	28
2	Серпантин	2600	180	28
3	Палатка	2600	180	28
4	Водопад	2800	270	28
5	Чертово Кольцо	2800	180	28
Маршрут Терскол-Ак				
6	Мост (нижняя точка)	2400	230	31
7	Мост (верхняя точка)	2600	230	31
Маршрут Иткол				
8	Иткол (нижняя точка)	2200	180	25
9	Иткол (средняя точка)	2400	180	25
10	Иткол (верхняя точка)	2600	180	25
Маршрут Чегет				
11	Опушка	2400	120	23
12	Окопы	2600	120	23
13	Кафе „Ай“	2800	120	23
Маршрут Азау				
14	Пещеры	2600	180	33
15	Скала	2800	180	33
16	Терскол, поселок (метеостанция)	2146	Дно долины	

ных склонах с ошибкой от забрызгивания можно не считаться. Если склоны имеют значительную крутизну (более 20°), ямы следует делать в виде эллипса с тем, чтобы верхний край ямы был бы удален от приемного отверстия дождемера.

Во всех пунктах три ямочных дождемера вектоплювиометра, как правило, располагались на расстоянии 4—5 м друг от друга, что составляло перепад высот в 2—3 м. Возникал вопрос, не приводит ли этот сравнительно большой разнос приборов к систематической ошибке. С целью проверить это обстоятельство на одном из пунктов (Палатка) на склоне с уклоном $\alpha = 28^\circ$ были установ-

Таблица 2

Сравнение сезонных сумм метеорологических осадков (x) в каждом пункте с их количеством на метеостанции Терскол, поселок

Номер пункта	Название пункта	$x_{\text{мм}}$	$\frac{x}{x_T} 100\%$	Номер пункта	Название пункта	$x_{\text{мм}}$	$\frac{x}{x_T} 100\%$
16	Терскол, поселок (метеостанция)	123	100	8	Иткол (нижняя точка)	119	97
1	Склон	168	137	9	Иткол (средняя точка)	128	104
2	Серпантин	170	138	10	Иткол (верхняя точка)	133	108
4	Водопад	152	124	11	Опушка	163	133
5	Чертово Кольцо	158	128	12	Окопы	182	148
6	Мост (нижняя точка)	132	107	13	Кафе „Ай“	205	167
7	Мост (верхняя точка)	141	115	14	Пещеры	187	152
				15	Скала	196	160
Среднее						157	128

лены таким же образом три вертикальных дождемера. За сезон измеренные ими суммы осадков отличались менее чем на 1%, что находится в пределах ошибки измерений.

Размещение пунктов указано на рис. 2. Приборы были расставлены по склонам долин рек: Азау, Терскол, Гара-Баши, Донгуз-Орун, Баксан. Выбирались сравнительно ровные участки склонов различной экспозиции и уклонов. На склонах были выбраны маршруты, пункты которых по возможности располагались вдоль прямой вверх по склону. Измерениями была охвачена зона от 2200 до 3000 м над ур. м. Перепады высот между пунктами составляли 200 м; они определялись на местности по перепаду атмосферного давления.

Перечень маршрутов и пунктов дан в табл. 1, где указаны также основные характеристики всех пунктов наблюдений.

Пункт Палатка являлся экспериментальным методическим полигоном, где производились исследования забрызгивания, потерь на испарение, на смачивание, ветровой погрешности и др. Наблюдения на этом полигоне проводились сразу после дождя, а если дождь шел ночью — по утру.

Во всех остальных пунктах измерения проводились одновременно один раз в 5 дней.

При существующей плотности обычной осадкомерной сети на весь район, равный по площади показанному на рис. 2, приходится

Таблица 3

Изменчивость метеорологических осадков по площади бассейна

Дата	Число пунктов	Средний слой осадков по бассейну, мм	Среднее квадратичное отклонение σ , мм	Коэффициент вариации C_v , %
15/VI	13	27,0	8	30
25/V	12	4,1	3	75
5/VII	15	25,4	5	21
10/VII	11	2,6	3	100
5/VIII	12	13,8	3	25
20/VIII	15	39,0	7	18
30/VIII	14	32,2	6	20
5/IX	15	11,1	2	19
25/IX	15	3,9	2	25
За весь период	15	159,1	27	17

ся в лучшем случае одна метеостанция (или осадкомерный пост). Как правило, она расположена на дне какой-либо долины. В этом смысле метеостанция Терскол, поселок, характерна как сетевая станция, и ее показания обычно экстраполируют на всю окружающую горную территорию. Насколько это ошибочно, показывает сравнение сумм осадков за весь период наблюдений (табл. 2). Для каждого пункта указана и сумма метеорологических осадков x , и ее отношение к сумме осадков x_T на ст. Терскол, поселок, выраженное в процентах. Данные всех остальных пунктов в среднем на 28% больше суммы осадков, измеренной на ст. Терскол, поселок. Для отдельных пунктов это превышение варьирует от 4 до 60%.

Пентадные суммы варьируют еще больше. В табл. 3 приведены результаты расчета вариации по площади пентадных сумм метеорологических осадков и суммы осадков за весь период относительно среднего из данных всех пунктов. Коэффициент вариации по пятидневкам меняется в широких пределах, увеличиваясь, как обычно, с уменьшением суммы осадков. Коэффициент вариации

Таблица 4

Связь между количеством измеренных метеорологических осадков
в разных пунктах с их количеством в пункте Серпантин

Номер пункта	r	σ_r	n	a	b	$\sigma_{\text{мм}}$
1	0,99	0,01	8	1,06	-1,3	2,1
5	0,99	0,01	8	1,05	-1,4	1,9
12	0,96	0,03	8	1,06	1,2	4,6
10	0,92	0,06	7	0,91	-3,8	4,5
7	0,96	0,03	8	0,93	-2,7	3,6
14	0,96	0,03	7	0,87	5,0	4,5
16	0,86	0,10	8	0,84	-2,4	5,7
9	0,91	0,06	7	0,91	-3,6	4,6
8	0,94	0,04	9	0,73	-0,5	3,7
4	0,98	0,01	9	0,95	-1,1	2,8
13	0,94	0,04	8	1,16	2,1	3,8
11	0,97	0,02	7	1,01	-0,4	3,5
6	0,94	0,04	8	0,79	-1,0	3,7
15	0,97	0,02	8	1,2	-1,4	4,0

Таблица 5

Связь между количеством измеренных метеорологических осадков
в разных пунктах с их количеством на метеостанции Терскол, поселок

Номер пункта	r	σ_r	n	a	b	$\sigma_{\text{мм}}$
1	0,88	0,09	7	1,22	2,5	6,8
2	0,86	0,10	8	1,2	2,8	6,7
4	0,90	0,07	8	1,12	1,7	6,0
5	0,94	0,05	7	1,08	3,5	4,1
6	0,97	0,03	8	0,95	1,2	2,7
7	0,97	0,03	8	1,1	2,6	3,2
8	0,98	0,01	8	0,96	0,2	2,1
9	0,99	0,01	8	1,05	-0,2	1,2
10	0,93	0,05	7	1,03	1,6	4,5
11	0,98	0,01	7	1,17	3,0	2,9
12	0,97	0,02	7	1,28	3,6	3,9
13	0,98	0,01	7	1,52	2,5	3,8
14	0,93	0,05	7	1,21	3,7	5,1
15	0,91	0,06	8	1,45	1,8	6,9

по площади общей суммы осадков за весь период наблюдений равен 17%, что при сумме осадков 159 мм составляет ± 27 мм.

При значительной вариации по площади степень связности сумм осадков разных пунктов оказалась достаточно высокой. В табл. 4 и 5 представлены параметры, характеризующие связь между количеством измеренных пентадных сумм осадков в различных пунктах с их количеством в пункте Серпантин и на ст. Терскол, поселок, которые были выбраны в качестве реперных. В таблицах указаны: коэффициент корреляции r , характеристика его точности σ_r , число случаев n , по которым рассчитан r , параметры a и b линейной зависимости между $x_{\text{пункта}}$ и x по формуле (7) и среднее квадратичное отклонение σ индивидуальных точек на графике этой зависимости от средней кривой. Таким образом, количество осадков, рассчитываемое для какого-либо пункта по графику связи, получается с ошибкой, которая в $2/3$ случаев не превышает указанную для него в таблице величину σ . Метеостанция Терскол, поселок, расположена на дне долины, а пункт Серпантин находится на склоне горы Терскол на высоте 2600 м над ур. м. В этой высотной зоне имеется наибольшее число пунктов наблюдений; склон на котором расположен пункт Серпантин, характерен для окружающей местности.

При расчете корреляции отбирались случаи выпадения дождя при юго-западном, наиболее часто повторявшемся в этом районе, направлении ведущего потока, который определялся по картам барической топографии.

Значения коэффициента корреляции r между пентадными суммами метеорологических осадков, измеренных в пункте Серпантин и во всех остальных пунктах, не ниже 0,9, кроме дна долины (пункт 16), где коэффициент корреляции 0,86. Наиболее высокая корреляция ($r=0,99$) оказалась, естественно, между пунктами, расположенными на одном склоне (пункты 1, 4, 5).

Коэффициенты корреляции между количеством метеорологических осадков, измеренных на дне долины и во всех остальных пунктах, тоже очень высоки — от 0,86 до 0,99.

Высокая степень связности для пентадных сумм осадков разных пунктов с их значениями в реперных пунктах позволяет надеяться на приемлемые результаты расчета количества осадков в разных пунктах по уравнению связи, которое определено для каждого из пунктов и имеет вид:

$$x_{\text{пункта}} = ax + b; \quad (7)$$

где x — количество осадков в реперном пункте. Коэффициенты a и b указаны в табл. 4 и 5. Сами уравнения связи определены как биссектриса угла между линиями регрессии.

Таким образом, проводя одновременно измерения метеорологических осадков в ряде пунктов бассейна в течение всего лишь одного сезона, мы получили все же возможность оценить корреляцию между пунктами и можем считать оправданной попытку

Таблица 6

Сравнение измеренных и рассчитанных по данным пункта Серпантин
сезонных сумм метеорологических осадков

Номер пункта	Сумма осадков за сезон		$\Delta x = (x_{\text{изм}} - x_{\text{расч}})$	Среднее отклонение, %	
	$x_{\text{изм}}$	$x_{\text{расч}}$		$\theta_{\text{сез}}$	$\theta_{\text{пент}}$
1	135,3	135,9	-0,6	0	22
4	152,0	152,3	-0,3	0	27
5	156,2	165,2	-9,0	-6	11
6	126,5	126,7	-0,2	0	15
7	136,0	141,3	-5,3	-4	29
8	118,8	119,5	-0,7	-1	15
9	126,1	127,2	-1,1	-1	20
10	132,7	126,0	6,7	5	31
11	151,2	150,5	0,7	0	29
12	167,4	171,8	-4,4	2	26
13	187,0	193,7	-6,7	4	26
14	154,1	160,4	-6,3	4	31
15	191,4	189,3	2,1	1	28
16	122,2	122,8	-0,6	0	29

Таблица 7

Сравнение количества метеорологических осадков, измеренных
в каждом пункте, с количеством осадков, рассчитанных для тех же
пунктов по уравнениям связи с метеостанцией Терскол, поселок

Номер пункта	Сумма осадков за сезон		$\Delta x = (x_{\text{изм}} - x_{\text{расч}})$	$\theta_{\text{сез}} \%$	$\theta_{\text{пент}} \%$
	$x_{\text{изм}}$	$x_{\text{расч}}$			
1	135,3	134,0	1,3	1	19
2	169,9	167,9	2,0	1	23
4	152,1	150,4	1,6	1	37
5	156,2	155,0	1,2	1	22
6	126,5	125,5	1,0	1	23
7	136,0	142,2	-6,2	-4	30
8	118,8	118,5	0,3	0	16
9	126,1	130,1	-4,0	-3	13
10	132,7	139,3	-6,6	-5	31
11	151,2	150,9	0,3	0	12
12	167,4	163,5	3,9	2	39
13	187,0	185,5	1,5	1	33
14	154,1	148,9	6,2	4	18
15	191,4	191,5	-0,1	0	26

вычислять пентадные суммы осадков в этих пунктах по данным только одного из них.

В табл. 6 и 7 представлены сезонные суммы измеренных метеорологических осадков для 14 пунктов и суммы осадков, рассчитанные для тех же пунктов по уравнениям связи с реперными пунктами. Из таблиц видно, что сезонные суммы измеренных и рассчитанных осадков очень близки между собой. Их различия не превышают 6%. Средние отклонения пентадных сумм колеблются в широких пределах, достигая иногда 30%.

Совершенно аналогичное статистическое исследование произведено по измеренным пентадным суммам склоновых осадков x_c . Результаты представлены в табл. 8 и 9. Сезонные суммы склоновых осадков, измеренных в самой точке и рассчитанных по уравнению связи с пунктов Серпантин, очень близки между собой. Средние отклонения измеренных и рассчитанных пентадных сумм склоновых осадков варьируют от 6 до 39%, увеличиваясь с уменьшением количества осадков.

Как уже выше упоминалось, в работах Юнгхауза [4], Олдриджа [2] было высказано предположение, что пятнистость осадков в горах определяется, в основном, перераспределением выпадающих осадков ветром по склонам различных ориентаций. Так, Олдридж полагает, что плотность осадков над горами постоянна для некоторой площади, а траектории всех падающих капель одинаковы, прямолинейны и параллельны над всем водосбором, т. е. количество метеорологических осадков, наклон и азимут осадков одинаковы и над местом расположения вектоплювиометра и над

Таблица 8

Связь между количеством измеренных склоновых осадков в разных пунктах и количеством склоновых осадков в пункте Серпантин

Номер пункта	r	σ_r	n	a	b	σ_{mm}
1	0,99	0,01	8	0,98	-0,3	1,6
5	0,99	0,01	8	1	-0,1	1,6
12	0,95	0,04	8	1,12	1,2	4,5
10	0,94	0,04	8	0,83	-0,3	3,6
7	0,95	0,04	8	0,89	-1	2,0
14	0,98	0,02	7	1,12	-1,3	2,3
9	0,91	0,08	6	0,91	-1,8	4,3
8	0,93	0,05	7	0,93	-2,7	3,4
13	0,93	0,05	7	1,23	0,4	5,5
4	0,98	0,01	9	1,01	0,01	2,4
6	0,95	0,03	7	0,82	-0,9	3,1
11	0,96	0,02	7	1,02	1,1	3,7
15	0,97	0,02	7	1,06	0,1	3,3

Таблица 9

**Сравнение сезонных сумм склоновых осадков, измеренных
и рассчитанных по пункту Серпантин**

Номер пункта	Сумма осадков за сезон		$\Delta x_c =$ $=(x_{c \text{ изм}} -$ $- x_{c \text{ расч}})$	$\theta_{\text{сез}} \%$	$\theta_{\text{пент}} \%$
	$x_{c \text{ изм}}$	$x_{c \text{ расч}}$			
1	127,4	126,2	1,2	1	22
4	137,8	137,2	0,6	0	26
5	132,7	133,2	-0,5	0	6
6	93,9	94,3	-0,4	0	23
7	112,9	112,5	0,4	0	17
8	104,7	105,0	-0,3	0	32
9	88,4	89,2	-0,8	1	27
10	99,2	99,7	-0,5	1	17
11	103,1	105,0	-1,9	2	39
12	146,5	146,0	0,5	0	33
13	151,1	151,3	-0,2	0	29
14	115,4	112,3	3,1	3	32
15	111,0	104,3	6,7	6	27

любой другой точкой бассейна, для которой нужно проводить расчет x_c . Если это так, то разница в количестве x_c определяется только различием ориентаций и уклонов склонов.

В Приэльбрусской экспедиции 1971 г. с помощью густой сети вектоплювиометров проводились измерения всех параметров осадков в разных точках бассейна.

В табл. 10 представлены данные наблюдений в пунктах, расположенных на одной и той же высоте 2600 м над ур. м. Если бы выполнялось предположение о равномерности и прямолинейности траекторий дождевых капель над водосбором, то количество метеорологических осадков, наклон и азимут осадков во всех пунктах были бы одинаковы. Однако, как видно из табл. 10, все параметры дождя меняются от точки к точке, и изменения эти значительны даже в том случае, если пункты расположены на склонах с равными азимутами и уклонами склонов.

Расчеты показали, что связь между значениями азимутов осадков разных пунктов существует только для пунктов, расположенных на одном и том же склоне. Связь между значениями азимутов осадков в пунктах, расположенных на разных склонах, практически не существует ($r \approx 0,3$).

Отсюда видно, что пользоваться схемой расчета, которая предполагает постоянство траекторий дождевых капель, нельзя.

Л. Р. СТРУЗЕР, Э. Г. БОГДАНОВА

ОСНОВЫ МЕТОДИКИ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ МЕТЕЛЕЙ ПРИ КОРРЕКТИРОВКЕ НОРМ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

В предыдущих работах [5, 6] был предложен способ расчета количества так называемых «ложных» осадков $x_{\text{л}}$, попадающих в осадкомер во время метелей. Оно рассчитывается по соотношению

$$x_{\text{л}} = I_{\text{л}} \tau, \quad (1)$$

где $I_{\text{л}}$ — интенсивность ложных осадков (мм/ч); τ — продолжительность метелей.

Для определения $I_{\text{л}}$ служат найденные в работе [5] эмпирические зависимости этой величины от скорости ветра u_2 на уровне приемного отверстия осадкомера (2 м). Показано, что несмотря на сложность физической картины снегопереноса, которая определяется действием многих факторов, практически достаточно учитывать из них только скорость ветра и вид метели. Для общих и низовых метелей зависимость $I_{\text{л}}$ от u_2 оказалась разной.

Расчет непосредственно по формуле (1) возможен для относительно коротких промежутков времени, пока скорость ветра мало менялась. Когда идет речь о расчете поправки к средней многолетней месячной или сезонной сумме (норме) осадков, возникают дополнительные трудности. Среднее многолетнее месячное (или сезонное) количество ложных осадков $\bar{x}_{\text{л}}$ по аналогии с формулой (1) должно рассчитываться по формуле:

$$\bar{x}_{\text{л}} = \bar{I}_{\text{л}} \bar{\tau}, \quad (2)$$

где $\bar{I}_{\text{л}}$ и $\bar{\tau}$ — соответственно средние многолетние значения интенсивности ложных осадков и продолжительности метелей для данного календарного месяца или для сезона. В упоминавшейся ра-

боте [6] для расчета $\bar{I}_\pi$ предложена формула, которая ниже приведена с некоторыми изменениями обозначений:

$$I_\pi = \frac{\bar{\tau}_1}{\bar{\tau}} \bar{I}_{\pi, 1} + \frac{\bar{\tau}_2}{\bar{\tau}} \bar{I}_{\pi, 2}. \quad (3)$$

Здесь $\bar{\tau}$ — средняя многолетняя продолжительность общих и низовых метелей вместе; $\bar{\tau}_1$ и $\bar{\tau}_2$ — то же для общих и низовых метелей в отдельности; $\bar{I}_{\pi, 1}$ и $\bar{I}_{\pi, 2}$ — средняя многолетняя интенсивность ложных осадков соответственно при общих и низовых метелях. Последние две величины определяются как средние взвешенные по повторяемости скоростей ветра

$$\bar{I}_{\pi, 1} = \sum_i v_{i, 1} I_{\pi, 1}(u_{2, i}), \quad (4)$$

$$\bar{I}_{\pi, 2} = \sum_i v_{i, 2} I_{\pi, 2}(u_{2, i}). \quad (5)$$

Здесь $v_{i, 1}$ и $v_{i, 2}$ — повторяемость скоростей ветра $u_{2, i}$ соответственно при общих и низовых метелях.

Таким образом, чтобы рассчитать среднюю многолетнюю сумму ложных осадков x_π для данного месяца или сезона, нужно знать для этого месяца или сезона среднюю многолетнюю продолжительность общих ($\bar{\tau}_1$) и низовых ($\bar{\tau}_2$) метелей и средние взвешенные по повторяемости скоростей ветра интенсивности ложных осадков при общих ($\bar{I}_{\pi, 1}$) и низовых ($\bar{I}_{\pi, 2}$) метелях. Эти величины для любой станции можно вычислить по первичным материалам за много лет, содержащимся в таблицах ТМ-1. Такой способ определения $\bar{I}_\pi$ и $\bar{\tau}$ наиболее точный. К сожалению, объем обработки материала, когда речь идет о корректировке данных по осадкам всех станций, чрезвычайно велик и пока не может быть выполнен на ЭВМ, так как в имеющихся массивах перфокарт отсутствует продолжительность метелей. Приходится искать способы определения $\bar{\tau}$ и $\bar{I}_\pi$ по данным, содержащимся в Справочнике по климату СССР. Эти способы по необходимости будут в какой-то мере косвенными, основанными на некоторых связях стохастического характера между рассчитываемыми параметрами и другими климатологическими характеристиками. Соответственно и точность расчетов $\bar{\tau}$ и $\bar{I}_\pi$, а следовательно, и x_π , по таким связям будет меньше. Поэтому при разработке таких приближенных способов расчета следует каждый раз оценивать их точность.

Определение средней многолетней месячной продолжительности метелей

В Справочнике [4] эта величина указана для всех видов метелей вместе (и отдельно для поземок), но только по выборочной сети станций. Обозначим ее буквой $\bar{\tau}$ без индекса. Возникает необходимость решения двух задач: 1) определение $\bar{\tau}$ для станций, не вошедших в таблицы Справочника; 2) раздельное определение

средней многолетней продолжительности общих (τ_1) и низовых (τ_2) метелей.

По данным, содержащимся в Справочнике [4], для территории любого УГМС или его части можно построить связь между τ и средним многолетним числом дней с метелью $\bar{D}_M$. Это можно сделать как для средних за месяц, так и для средних за сезон τ и $\bar{D}_M$. В некоторых выпусках Справочника [4] такие связи за сезон построены — обычно для всей территории УГМС сразу. Зави-

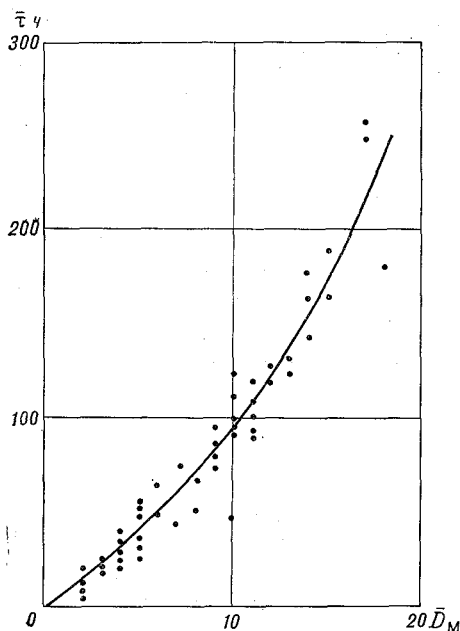


Рис. 1. Связь между средней многолетней месячной продолжительностью метелей всех видов (τ) и средним многолетним месячным числом дней с метелью ($\bar{D}_M$) для территории Красноярского УГМС.

симости τ от $\bar{D}_M$ получают-ся достаточно тесными. В качестве примера на рис. 1 приведена зависимость месячных значений τ от $\bar{D}_M$ для территории Красноярского УГМС. Показаны эмпирические точки, расположение которых убеждает в достаточной надежности связи. Точность определения средних многолетних месячных значений τ по таким кривым около $\pm 10\%$, что эквивалентно 5—10% от величины τ . Относительная ошибка определения τ по сезонным связям в 2—2,5 раза меньше, что составляет 2—5%. Поскольку число дней с метелями ($\bar{D}_M$) указано в Справочнике для всех станций, кривые, подобные кривой на рис. 1, позволяют определить τ для любой станции территории, к которой они относятся. Исключение составляют станции, защищенность ко-

торых очень сильно отличается от средней для территории.

Чтобы определить раздельно продолжительность общих (τ_1) и низовых (τ_2) метелей, нужно найти дополнительные соотношения. По данным, которые содержатся в работе [1] (прилож. IV), можно рассчитать средние за 25 лет значения доли низовых метелей в общей продолжительности всех метелей, т. е. значения отношения τ_2/τ . К сожалению, в указанной работе имеются необходимые сведения всего по 29 станциям. Они помещены в табл. 1. В ту же

Таблица 1

Доля продолжительности низовых метелей τ_2/τ (в процентах от суммы продолжительности общих и низовых метелей)

Станция	$\frac{\tau_2}{\tau}$	Станция	$\frac{\tau_2}{\tau}$
Вилсанди*	26	Вилюйск	29
Старченко*	12	Колка	20
Нарьян-Мар*	16	Москва	21
Котлас*	22	Мичурино	15
Чердын*	18	Волово	21
Салехард	31	Леуши	31
Аральское Море*	43	Казань	53
Омск*	27	Октябрьский Городок	44
Целиноград*	19	Александров Гай	48
Туруханск*	8	Медвежьегорск	26
Ербогачёв*	31	Верхне-Имбатское	17
Покровск*	3	Енисейск	22
Дальнереченск	32	Архангельск	32
Южно-Курильск*	22	Оренбург	23
Средникан*	0	Барабинск	27
Марково*	4	Жиганск	28
Красные Баки*	11	Сыктывкар	18
Сплавнуха*	16	Кола	27
Даугавпилс	25	Комсомольск-на-Амуре	33
Якутск	25	Рубцовск	35
Благовещенск	41	Семипалатинск	38
Бира	61	Анадырь	35
Норский Склад	52	Петропавловск-Камчатский	29
		Среднее	27

таблицу включены значения $\bar{\tau}_2/\bar{\tau}$, вычисленные нами по первичным материалам (из таблиц ТМ-1) еще для 17 станций (отмечены в табл. 1 звездочкой), но лишь за пятилетний период (с 1958 по 1963 г.). Попытка нанести значения $\bar{\tau}_2/\bar{\tau}$ на карту показала, что сколько-нибудь отчетливому районированию этот параметр не поддается. Однако, как видно из таблицы, он меняется не очень сильно — при среднем его значении для всей территории СССР, равном 27%, в интервал от 15 до 40% укладываются более 70% всех станций. Следовательно, если принять, что для всей территории СССР 27% продолжительности метелей приходится на метели низовые, то в расчете продолжительности только общих метелей (τ_1) воз-

можно ошибка порядка 15% от величины $\bar{\tau}_1$. В 30% случаев ошибка может оказаться больше этой оценки. Поскольку доля ложных осадков в общей сумме измеренных осадков не слишком велика [1], то погрешность их вычисления, связанная с неточностью определения доли продолжительности низовых метелей, не приведет к ошибке в исправленной сумме осадков большей, чем $\pm 2 \div 3\%$ от этой суммы.

Поэтому такой грубый способ определения $\bar{\tau}_1$ практически приемлем. Разумеется, желательна всякая возможность его уточнения, но пока для этого необходимо производить весьма громоздкие расчеты по первичным материалам станций.

Определение средней многолетней интенсивности ложных осадков

Как уже было сказано, для точного определения средней многолетней интенсивности ложных осадков нужно при общих метелях воспользоваться формулой (4), которая требует, чтобы была известна повторяемость $v_{i,1}$ скоростей ветра во время общих метелей, а для расчета при низовых метелях по аналогичной формуле (5) требуется знать повторяемость $v_{i,2}$ скоростей ветра во время низовых метелей. Такие сведения в Справочнике [4] имеются лишь по ограниченной сети станций и притом в виде средних многолетних сезонных повторяемостей скоростей ветра за время метелей всех видов без разделения на общие и низовые. Обозначим эту величину через v_i .

Возникает вопрос, велика ли ошибка определения $\bar{I}_л$ по формуле (3), если рассчитывать $\bar{I}_{л,1}$ по v_i вместо $\bar{v}_{i,1}$, а $\bar{I}_{л,2}$ по v_i вместо $\bar{v}_{i,2}$. Для получения оценки этой ошибки нужно было бы по некоторому числу станций с различной формой кривой распределения скоростей ветра при метелях v_i рассчитать отдельно $v_{i,1}$ и $v_{i,2}$. При отсутствии этих сведений оценку можно получить, исходя из следующих соображений. Ниже будет показано, что если рассчитать среднюю интенсивность для общих ($\bar{I}_{л,1}$) и низовых ($\bar{I}_{л,2}$) метелей по одному и тому же распределению повторяемостей v_i , то в большинстве случаев $\bar{I}_{л,2}$ в 3—10 раз меньше $\bar{I}_{л,1}$. Лишь на некоторых станциях (с очень вытянутой в область сильных ветров кривой v_i) $\bar{I}_{л,2}$ доходит до половины $\bar{I}_{л,1}$. При таком расчете по одинаковым v_i величина $\bar{I}_{л,2}$ несколько преуменьшена из-за преобладания больших скоростей ветра во время низовых метелей, но зато величина $\bar{I}_{л,1}$ соответственно преувеличена, так как по кривой $v_{i,1}$ доля больших скоростей ветра относительно меньше, чем по кривой $v_{i,2}$. Учитывая, что продолжительность низовых метелей, как было показано, обычно составляет лишь 15—45% общей продолжительности обоих видов метелей, ошибка расчета $\bar{I}_л$ по v_i вместо $v_{i,1}$ и $v_{i,2}$ будет на большинстве станций в пределах 5—10% от самой величины $\bar{I}_л$, что приемлемо.

Принимая эту оценку, можно вычислять $\bar{I}_{л,1}$ и $\bar{I}_{л,2}$ по одной и той же общей повторяемости v_i скоростей ветра при метелях всех видов. Заметим, что если вместо всего распределения метелевых ветров известна лишь средняя многолетняя скорость ветра за сроки с метелями ($\bar{u}_M$), то расчет все равно возможен, так как $\bar{I}_{л,1}$, как это видно из рис. 2, достаточно тесно связана с $\bar{u}_M$. Для построения связи использованы данные 180 открытых станций,

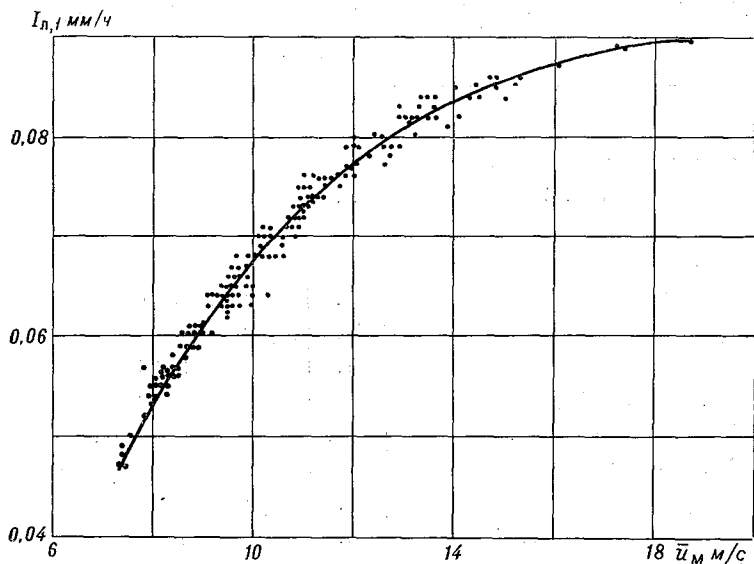


Рис. 2. Зависимость средней многолетней сезонной интенсивности ложных осадков ($\bar{I}_{л,1}$) от средней многолетней сезонной скорости ветра ($\bar{u}_M$) на высоте флюгера за сроки с метелями.

расположенных по всей территории СССР, где бывают метели. Каждая точка на графике нанесена по средним многолетним сезонным величинам $\bar{I}_{л,2}$ и $\bar{u}_M$. Разные территории не выделены особыми значками, так как систематического отклонения данных какого-то района в пределах имеющейся небольшой области разброса точек не наблюдается.

Нетрудно построить аналогичную связь для низовых метелей, а также для защищенных станций, но в данной работе это излишне, так как практически ими воспользоваться не удастся из-за отсутствия в Справочнике значений $\bar{u}_M$.

Как уже было сказано, распределение метелевых ветров дано в Справочнике лишь по ограниченной сети станций. Поэтому потребовалось разработать косвенный способ расчета $\bar{I}_{л}$ для станций, по которым v_i неизвестны. Таких станций большинство. Этот

способ заключается в использовании связи $\bar{T}_{л}$ непосредственно со средней многолетней сезонной скоростью ветра $\bar{u}_{ф}$, рассчитанной по всем срокам наблюдений, которая известна для всех станций.

Связь с $\bar{u}_{ф}$ отыскивалась отдельно для интенсивности ложных осадков $\bar{T}_{л, 1}$ во время общих метелей и для их интенсивности $\bar{T}_{л, 2}$

Таблица 2

Управления гидрометеорологической службы, входящие в регионы, в пределах которых можно пользоваться одной и той же кривой зависимости $\bar{T}_{л, 1}$ от $\bar{u}_{ф}$

Номер УГМС	Наименование УГМС	Номер УГМС	Наименование УГМС
I.	Регион ЕТС	II.	Регион Западной части АТС
1.	Мурманское	16.	Омское
2.	Северное	17.	Западно-Сибирское
3.	Уральское	18.	Красноярское
4.	Эстонской ССР	19.	Казахской ССР
5.	Литовской ССР		
6.	Латвийской ССР	III.	Регион Восточной части АТС
7.	Северо-Западное	20.	Якутское
8.	Белорусской ССР	21.	Иркутское
9.	Центральных областей	22.	Забайкальское
10.	Центрально-черноземных об- ластей	23.	Дальнего Востока
II.	Верхне-Волжское	24.	Колымское
12.	Приволжское	25.	Приморское
13.	Украинской ССР		
14.	Молдавской ССР		
15.	Северо-Кавказское		

во время низовых метелей. Расчеты были сделаны по всей территории СССР, где бывают метели, всего по данным более чем 450 станций.

Зависимость $\bar{T}_{л, 1}$ от $\bar{u}_{ф}$ оказалась однотипной на всей территории: с возрастанием $\bar{u}_{ф}$ увеличение $\bar{T}_{л, 1}$ замедляется. Ход кривых в разных районах различен, причем это различие с возрастанием $\bar{u}_{ф}$ уменьшается.

Первоначально кривые строились отдельно для однородных по физико-географическим условиям частей территории УГМС. Затем

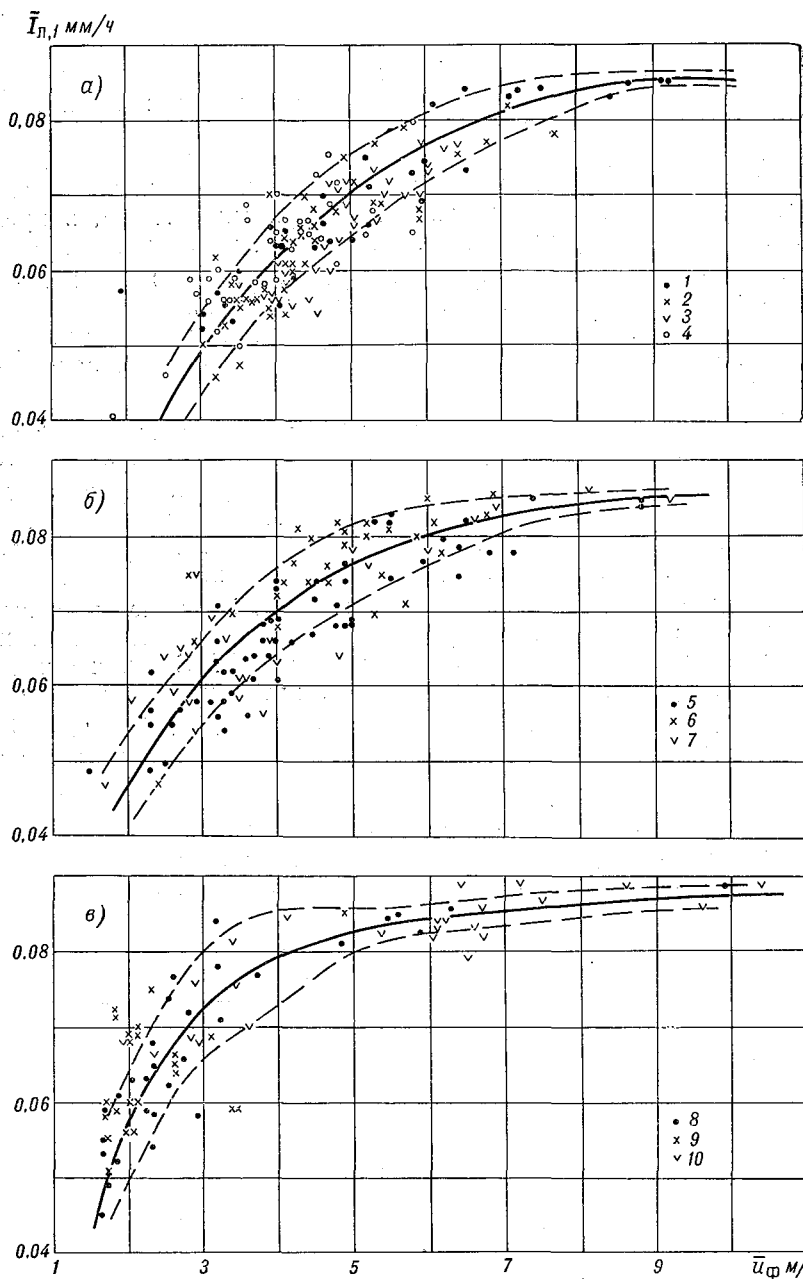


Рис. 3. Зависимость средней многолетней сезонной интенсивности ложных осадков ($\bar{I}_{n,1}$) при общих метелях от средней многолетней сезонной скорости ветра ($\bar{u}_{\Phi}$) на высоте флюгера.

а — кривая, построенная по данным станций УГМС региона I: 1 — станции УГМС I и 2 (по нумерации табл. 2), 2 — станции УГМС 4—7, 3 — станции УГМС 8—12, 4 — станции УГМС 3; б — кривая, построенная по данным станций УГМС региона II: 5 — станции УГМС 16 и 17, 6 — станции УГМС 19, 7 — станции УГМС 18; в — кривая, построенная по данным станций УГМС региона III: 8 — станции УГМС 20, 9 — станции УГМС 21, 22 и 23, 10 — станции УГМС 24 и 25.

по интервалам $\bar{u}_\Phi$ шириной в 1 м/с вычислялись средние квадратичные отклонения отдельных точек от средней кривой и по их значениям проводились границы зоны доверительного интервала. Далее в одну общую кривую объединялись те кривые, расстояние между которыми оказалось меньше их доверительных интервалов. Таким образом удалось выделить три крупных региона, в пределах каждого из которых можно пользоваться одной и той же кривой зависимости $\bar{T}_{л,1}$ от $\bar{u}_\Phi$. Ниже перечислены регионы и входящие в них УГМС (табл. 2). В обработку включены данные станций этих УГМС. По остальной территории, где метелей практически не бывает, обработка не производилась. В основном это южные районы.

На рис. 3 помещено поле эмпирических точек, по которым проведены кривые связи $\bar{T}_{л,1} = f(\bar{u}_\Phi)$ для трех регионов. Каждая точка графика есть значение $\bar{T}_{л,1}$, рассчитанное по формуле (3) для конкретной станции с учетом средней многолетней сезонной повторяемости v_i скоростей ветра во время метелей на данной станции и отнесенное к средней многолетней сезонной скорости ветра $\bar{u}_\Phi$ на той же станции. Станции разных УГМС помечены разными значками, что позволяет убедиться в отсутствии систематических различий между данными станций разных УГМС одного и того же крупного региона, для которого действительна данная кривая. Разброс точек вокруг средней кривой характеризуется средними квадратичными отклонениями $\sigma_{\bar{T}_{л,1}}$ значений $\bar{T}_{л,1}$ отдельных стан-

Таблица 3

Значения $\sigma_{\bar{T}_{л,1}}$ (в мм/ч) и $\sigma_{\bar{T}_{л,1}} / \bar{T}_{л,1}$ (в процентах) для разных частей территории СССР при различной скорости ветра $\bar{u}_\Phi$

	$\bar{u}_\Phi$ м/с							
	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8
ЕТС (регион I)								
$\sigma_{\bar{T}_{л,1}}$	—	—	0,005	0,005	0,005	0,004	0,003	0,001
$\sigma_{\bar{T}_{л,1}} / \bar{T}_{л,1}$	—	—	9	8	7	5	4	1
Западная и Средняя Сибирь и Казахстан (регион II)								
$\sigma_{\bar{T}_{л,1}}$	—	0,005	0,006	0,006	0,004	0,003	—	0,001
$\sigma_{\bar{T}_{л,1}} / \bar{T}_{л,1}$	—	9	9	8	5	4	—	1
Восточная Сибирь и Дальний Восток (регион III)								
$\sigma_{\bar{T}_{л,1}}$	0,007	0,007	0,009	—	0,002	—	0,002	0,001
$\sigma_{\bar{T}_{л,1}} / \bar{T}_{л,1}$	12	10	12	—	2	—	2	1

ций. Они приведены в табл. 3 для разных интервалов $\bar{u}_\phi$. Данные таблицы показывают, что точность кривых при малых значениях скорости ветра меньше, чем при больших. Ошибка уменьшается от 9—10% при $\bar{u}_\phi = 2-3$ м/с до 1% при $\bar{u}_\phi > 8$ м/с. На рис. 3 области $\sigma_{\bar{I}_{л,1}}$ ограничены пунктирными кривыми. Следует заметить, что значения $\bar{I}_{л,1}$ в южной части ЕТС (Украина, Северный Кавказ, Молдавия и Нижнее Поволжье) систематически отклоняются от средней кривой, характеризующей остальную часть ЕТС, однако выделять Юг ЕТС в отдельный регион, очевидно, не имеет смысла, так как это отклонение мало — оно не превышает величины $\sigma_{\bar{I}_{л,1}}$ средней кривой всего Европейского региона. Кроме того, продолжительность метелей на юге ЕТС невелика, количество ложных осадков мало, и некоторая небольшая систематическая погрешность в определении $\bar{I}_{л,1}$ не отразится поэтому заметно на общих результатах корректировки измеренных величин осадков.

На рис. 4 приведены все три кривые, совмещенные на одном графике, что позволяет ясно увидеть различия между ними. С увеличением $\bar{u}_\phi$ кривые сближаются, и при $\bar{u}_\phi > 7$ м/с они практически сливаются в одну кривую. Ход кривых различен потому, что при одной и той же $\bar{u}_\phi$ скорость ветра при метелях ($\bar{u}_m$) может быть весьма различной в разных районах. Региональные различия в значениях $\bar{u}_m$ при (одинаковых $\bar{u}_\phi$) определяются всем сложным комплексом различий природных условий данных районов: разным характером синоптических процессов, определяющих поле ветра и режим выпадения осадков, разным температурным режимом, определяющим наличие и состояние снежного покрова, а также разным характером ландшафта, который может способствовать или препятствовать развитию метелей. Все эти факторы влияют в совокупности на разброс эмпирических точек рис. 3. Попытки выделить среди них какой-то один ведущий фактор или какую-то одну их комбинацию, которая определяла бы различие в ходе кривых рис. 4, не удалось. Проще

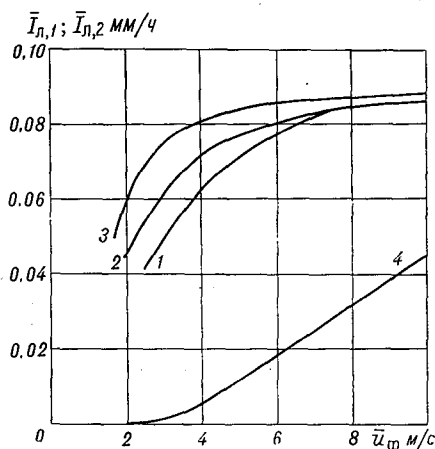


Рис. 4. Зависимость средней многолетней месячной интенсивности ложных осадков от средней многолетней месячной скорости ветра $\bar{u}_\phi$.

Кривые интенсивности для общих метелей ($\bar{I}_{л,1}$) построены по данным станций УГМС региона I (1), региона II (2) и региона III (3). Кривая 4 — кривая интенсивности для низовых метелей ($\bar{I}_{л,2}$).

развитию метелей. Все эти факторы влияют в совокупности на разброс эмпирических точек рис. 3. Попытки выделить среди них какой-то один ведущий фактор или какую-то одну их комбинацию, которая определяла бы различие в ходе кривых рис. 4, не удалось. Проще

оказалось пользоваться региональными связями $\bar{I}_{л,1}$ от $\bar{u}_ф$, тем более, что точность определения $\bar{I}_{л,1}$ по ним достаточна.

Таким образом, имея зависимость $\bar{I}_{л,1}$ от $\bar{u}_ф$, представленную кривыми 1—3 на рис. 4, можно определить $\bar{I}_{л,1}$ для любой станции, если известны ее местоположение и средняя многолетняя скорость ветра $\bar{u}_ф$ этой станции.

Совершенно таким же путем был построен график связи для интенсивности ложных осадков $\bar{I}_{л,2}$ во время низовых метелей со средней скоростью ветра $\bar{u}_ф$ (первоначально как региональный). Однако при одной и той же $\bar{u}_ф$ всегда $\bar{I}_{л,2} \ll \bar{I}_{л,1}$ и продолжительность низовых метелей всегда меньше, чем общих. Поэтому для практических расчетов можно ограничиться построением единого для всей территории СССР графика связи $\bar{I}_{л,2}$ с $\bar{u}_ф$. Такой график, составленный по данным нескольких сот станций, представлен на рис. 5. Эмпирических точек очень много. Поэтому вместо них на графике заштрихована область доверительного интервала обеспеченностью 2/3. Несмотря на то что график построен по данным

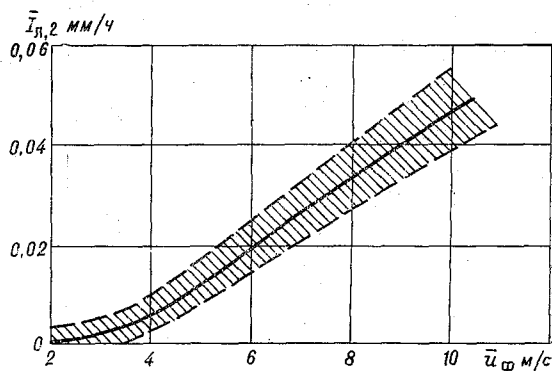


Рис. 5. Зависимость средней многолетней месячной интенсивности ложных осадков ($\bar{I}_{л,2}$) при низовых метелях от средней многолетней месячной скорости ветра ($\bar{u}_ф$).

станций, расположенных на всей территории СССР, ширина доверительного интервала оказалась не больше, чем на региональных графиках рис. 3 для $\bar{I}_{л,1}$, т. е. точность определения $\bar{I}_{л,2}$ по нему не хуже, чем точность определения $\bar{I}_{л,1}$ по кривым рис. 3. По размещению эмпирических точек можно заметить, что точки некоторых районов несколько отклоняются в одну сторону от средней кривой рис. 5, но величина такого систематического отклонения меньше ширины доверительного интервала. Учитывать такое небольшое отклонение отдельным графиком не имеет смысла.

Кривая рис. 5 нанесена также на поле рис. 4 (кривая 4). Она проходит много ниже кривых $\bar{I}_{л, 1}$. Кроме того, поскольку средняя интенсивность всех ложных осадков, согласно формуле (3), вычисляется как средняя из $\bar{I}_{л, 1}$ и $\bar{I}_{л, 2}$, взвешенная по продолжительностям общих и низовых метелей, а продолжительность низовых метелей мала, влияние их сколько-нибудь заметно лишь при больших $\bar{u}_ф$, превышающих 5 м/с. Столь большие средние месячные и тем более сезонные скорости ветра встречаются на ограниченной территории. Поэтому практически почти везде вторым слагаемым формулы (3) можно пренебречь и вычислять количество ложных осадков $\bar{x}_л$ по интенсивности и продолжительности только общих метелей:

$$\bar{x}_л \approx \bar{\tau}_1 \bar{I}_{л, 1}. \quad (6)$$

Описанным способом производятся расчеты $\bar{I}_л$ для открытых станций.

Если станция защищенная, то в расчеты интенсивности ложных осадков вводятся уточнения. За относительно короткое время, пока скорость ветра мало меняется, эти расчеты вместо формулы (1) производятся по формуле:

$$x_л = h I_л \tau. \quad (7)$$

Здесь h — коэффициент, зависящий от скорости ветра u_2 на высоте приемного отверстия осадкомера (2 м) и от параметра m , характеризующего степень защищенности станции. Определение этого параметра изложено в [8]. При общих и низовых метелях зависимость h от u_2 и m разная. При общих метелях обозначим этот коэффициент через h_1 , а при низовых — через h_2 .

В работе [5] для определения h_1 предложена формула и построенная по ней номограмма. Формулу для h_2 можно легко получить из соотношений работы [5].

Расчет средней многолетней интенсивности ложных осадков на защищенной станции вместо формулы (3) следует производить, строго говоря, по формуле:

$$\bar{I}_л = \frac{\bar{\tau}_1}{\tau} \bar{h}_1 \bar{I}_{л, 1} + \frac{\bar{\tau}_2}{\tau} \bar{h}_2 \bar{I}_{л, 2}, \quad (8)$$

где $\bar{h}_1 \bar{I}_{л, 1}$ — значение произведения $h_1 I_{л, 1}$, среднее взвешенное по повторяемостям ветров при общих метелях, а $\bar{h}_2 \bar{I}_{л, 2}$ — то же при низовых метелях. Можно показать, что и в этом случае второе слагаемое, как правило, мало. Для большинства защищенных станций количество ложных осадков $\bar{x}_л$ можно вычислять по упрощенной формуле:

$$\bar{x}_л \approx \bar{\tau}_1 \bar{h}_1 \bar{I}_{л, 1}, \quad (9)$$

не учитывающей низовых метелей.

Как и для открытых станций, здесь также требовалось найти связь средней интенсивности со средней многолетней скоростью ветра $\bar{u}_\phi$. Для этого по данным более чем 450 станций с разными кривыми повторяемости метелевых ветров были рассчитаны значения $\bar{h}_1 \bar{I}_{л,1}$ при $\bar{m}=0,75$ и $\bar{m}=0,50$ и сопоставлены со значениями $\bar{u}_\phi$ этих станций. В качестве

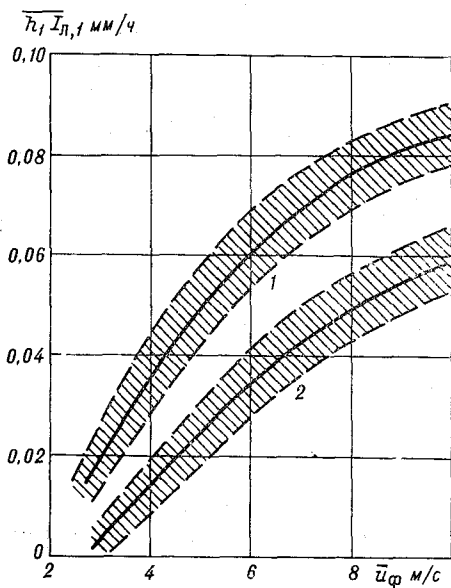


Рис. 6. Зависимость средней многолетней месячной интенсивности ложных осадков ($\bar{h}_1 \bar{I}_{л,1}$) от $\bar{u}_\phi$ на защищенных станциях (для региона I).

1 — при $\bar{m}=0,75$, 2 — при $\bar{m}=0,50$.

примера на рис. 6 приведены получившиеся кривые для станций, расположенных на ЕТС. Вдоль них также вместо поля точек заштрихована область доверительного интервала. Для защищенных станций с иными значениями $\bar{m}$ величины $\bar{I}_л$ можно получать путем интерполяции между имеющимися кривыми. Станций с $\bar{m} < 0,5$ практически нет.

Таким образом, руководствуясь изложенной методикой, можно рассчитывать поправки к средним многолетним месячным и сезонным суммам осадков, учитывающие влияние метелей. Поправки могут быть рассчитаны как для открытых, так и для частично или полностью защищенных станций. Для вычисления поправок необходимы лишь сведения о средней скорости ветра и числе дней с метелями за соответствующий период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михель В. М., Руднева А. В., Липовская В. И. Переносы снега при метелях и снегопады на территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1969. 203 с.
2. Справочник по климату СССР. Ч. 3. Ветер. Вып. 1—34. Л., Гидрометеиздат, 1966—1968.
3. Справочник по климату СССР. Ч. 4. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Вып. 1—34. Л., Гидрометеиздат, 1967—1970.
4. Справочник по климату СССР. Ч. 5. Облачность и атмосферные явления. Вып. 1—34. Л., Гидрометеиздат, 1968—1970.
5. Струзер Л. Р. О способах учета ошибок осадкомеров, вызванных попаданием в них «ложных» осадков во время метелей.—«Тр. ГГО», 1970, вып. 260, с. 35—60.
6. Струзер Л. Р., Богданова Э. Г. К вопросу о надежности расчетов количества ложных осадков, попадающих в осадкомер во время метелей.—«Труды ГГО», 1971, вып. 280, с. 163—174.

7. Указания для Управлений гидрометеорологической службы по вычислению поправок к измеренным величинам атмосферных осадков. Под ред. Л. Р. Струзера и А. П. Бочкова. Л., Гидрометеоиздат, 1969. 54 с.

8. Федорова Е. А. Учет степени защищенности станций при вычислении скорости ветра на уровне установки осадкомера.—«Тр. ГГО», 1966, вып. 195, с. 63—69.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСПРАВЛЕННЫХ ВЕЛИЧИН АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ПРИ СРОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Сведения о количестве атмосферных осадков необходимы для обеспечения деятельности многих отраслей народного хозяйства. Осадки — один из важнейших метеорологических элементов. Однако применявшийся до 1952 г. дождемер с защитой Нифера и осадкомер Третьякова, наблюдения по которому проводятся с 1952 г. по настоящее время, в большинстве случаев существенно преуменьшают истинную величину атмосферных осадков. Установлены три главные причины этого преуменьшения. Часть капель дождя и снежинок не попадает в ведро осадкомера из-за местного увеличения скорости ветра над его приемным отверстием (ветровой недоучет осадков). Некоторое количество осадков смачивает стенки, воронку и дно ведра осадкомера и оказывается неучтенным после переливания собранных в ведре осадков в измерительный стакан (потери на смачивание). Часть собранных в ведре осадков испаряется за период между выпадением их и моментом измерения (потери на испарение). В некоторых случаях показания осадкомера Третьякова оказываются заметно искаженными наметанием в него лишнего снега («ложных» осадков) во время метели.

Таким образом, для получения исправленного количества осадков показания осадкомера надо увеличить на величину потерь на смачивание и испарение, уменьшить (если была метель) на величину ложных осадков и учесть ветровую ошибку.

В настоящее время методика определения всех этих поправок в значительной мере разработана. Ветровой недоучет осадков наиболее обстоятельно исследован Э. Г. Богдановой [1—3]; величина поправки на смачивание рассмотрена Н. Н. Брызгиным, Л. П. Кузнецовой, Г. А. Максимовым, И. Н. Нечаевым, Л. Р. Струзером и Ц. А. Швер [9, 13, 18, 19]; потери осадков на испарение из осадкомерного ведра исследованы И. Н. Нечаевым [10, 11], А. П. Браславским и К. Б. Шергиной [5] и др. Величина ложных осадков во время метели оценена Л. Р. Струзером [17]. Имеются и примеры комплексной корректировки измеренных осадков [12, 16, 21]. Некоторые из полученных оценок ошибок осадкомерных при-

боров уже широко используются для корректировки средних многолетних величин (норм) осадков. Значения исправленных норм (не учитывающие поправки на испарение) внесены в Справочник по климату СССР [15], опубликованы карты исправленных годовых и месячных норм осадков [12, 14, 16] и средние величины поправок по районам страны [8, 21]. В 1969 г. выпущены нормативные документы, регламентирующие порядок введения поправок в измеренные величины осадков непосредственно на станциях и постах в каждый срок наблюдений. Однако трехмесячный опыт применения этой системы показал, что она сопряжена со значительными ошибками случайного характера и дополнительной загрузкой наблюдателя. Оперативные службы, и в первую очередь служба гидрологических прогнозов, не были готовы к использованию новой информации. Поэтому система исправления исходной информации непосредственно в пунктах ее получения не введена в действие.

Между тем положение, при котором нормы осадков содержат поправки, а в исходной информации их нет, ненормально. Крайне необходимо обеспечить однородность всей информации об осадках. Требуется упростить систему введения поправок, переведа ее по возможности на ЭВМ, а затем вычислить однородные ряды осадков за весь период наблюдений, содержащие все виды поправок. Настоятельная необходимость в этом особенно остро ощущается при составлении текущих водных балансов по речным бассейнам.

Решению изложенной задачи и посвящена настоящая работа.

Для определения исправленной величины осадков x нужно уловленное осадкомером количество осадков x_y умножить на поправочный коэффициент K , характеризующий ветровой недоучет осадков (ветровой коэффициент):

$$x = x_y K. \quad (1)$$

Уловленное осадкомером количество осадков x_y состоит из измеренного количества осадков x_n и осадков, потерянных на смачивание Δx_c и на испарение Δx_E . Если во время метели в осадкомер наматывается некоторое количество ложных осадков (Δx_m), то для получения x_y следует это количество вычесть из измеренного значения осадков. Таким образом, можно записать:

$$x_y = x_n + \Delta x_c + \Delta x_E - \Delta x_m, \quad (2)$$

где Δx_c , Δx_E и Δx_m — поправки соответственно на смачивание, испарение и наметание ложных осадков.

Величина поправки на испарение Δx_E зависит от интенсивности испарения и продолжительности τ нахождения осадков в ведре осадкомера. В свою очередь, интенсивность испарения определяется разностью упругости водяного пара $\Delta e = e_0 - e$ и скоростью ветра u_2 у осадкомерного ведра, причем максимальная упругость водяного пара e_0 должна определяться по температуре поверхности

воды в осадкомерном ведре, а эта последняя приближенно равна средней температуре ведра осадкомера. Зависимость интенсивности испарения w от Δe и u_2 найти чисто теоретическим расчетом не удастся ввиду сложности конфигурации осадкомера. Приходится обращаться к эксперименту, во время которого по необходимости устанавливается связь не между мгновенными значениями w , Δe и u_2 , а между средними их значениями за период испарения τ . Естественный вид этой связи, соответствующий закону Дальтона, будет:

$$w = B \Delta e u_2^m, \quad (3)$$

где B и m — эмпирические коэффициенты.

Эксперименты, результаты которых опубликованы в работе [5], привели к установлению расчетной зависимости

$$\Delta x_E = B \Delta e u_2 \tau. \quad (4)$$

Если Δe выражать в мб, u_2 — в м/с, τ — в часах, то коэффициент B для жидких осадков равен 0,0013, а для твердых 0,0065.

Разность упругости $\Delta e = e_0 - e$, где e — упругость водяного пара, содержащегося в воздухе вблизи осадкомерного ведра во время испарения, e_0 — максимальная упругость водяного пара при температуре t_v поверхности воды в ведре, которую, как сказано выше, можно считать равной средней температуре ведра осадкомера. Методика расчета средней суточной температуры осадкомерного ведра имеется в работе [5]. В ней используется уравнение теплового баланса ведра осадкомера.

Величина поправки на смачивание ведра осадкомера Δx_c детально исследована в [9, 13]. Опыты по установлению величин Δx_c проводились следующим образом. Измерялось некоторое количество воды или взвешивалась определенная порция снега x_y . Воду или снег помещали в ведро осадкомера, имитируя по возможности естественный процесс улавливания ведром осадкомера атмосферных осадков. Воду сразу выливали из ведра осадкомера в измерительный стакан, а снег растапливали в теплом помещении и затем поступали так же. По разности количества воды, помещенной в ведро осадкомера и вылившейся из него, находили значение Δx_c . Из этих опытов следует, что величина Δx_c в некотором начальном диапазоне значений слоя x_y налитой в осадкомер воды или насыпанного снега зависит от величины слоя x_y . Зависимость эта изображена на рис. 1. Она хорошо аппроксимируется формулами:

для жидких и смешанных осадков

$$\Delta x_{c, ж} = 0,435 x_{y, ж} + 0,026 \leq 0,2 \text{ мм}, \quad (5)$$

для твердых осадков

$$\Delta x_{c, т} = 0,036 x_{y, т} + 0,045 \leq 0,15 \text{ мм}. \quad (6)$$

При количестве воды x_y , превышающем то, которому соответствует значение Δx_c , больше указанных пределов, Δx_c уже более от x_y не зависит и равно этим предельным значениям. Уравнениями не описывается только самая нижняя часть графической зависимости, изображенной на рис. 1 б. Однако эта зона, где $x_y < 0,05$ мм, практически не потребуется для определения значения Δx_c при исправлении величины измеренных осадков, так как при измерении столь малые осадки записываются как равные нулю.

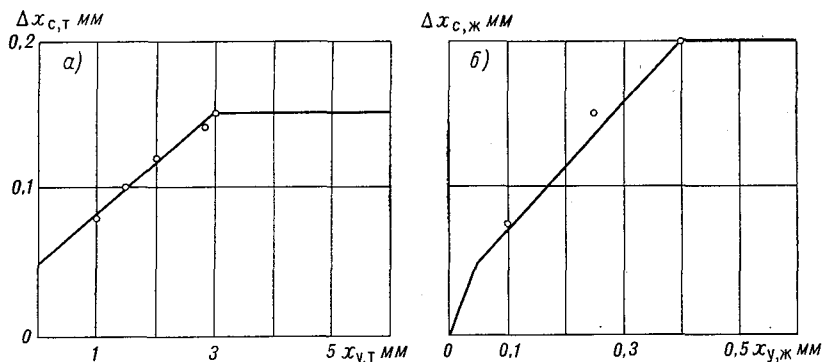


Рис. 1. Зависимость $\Delta x_c = f(x_{и} + \Delta x_c + \Delta x_E)$ по данным опытов [9, 17].
а — для твердых осадков, б — для жидких и смешанных осадков.

Заметим, что в выражении (5) налитое во время опытов количество жидких осадков, обозначенное как $x_{y, ж}$, действительно соответствует полному уловленному количеству жидких осадков, а не их измеренной величине $x_{и}$ (в опытах потерь на испарение не было). Практически же важно иметь зависимость Δx_c от измеренных осадков $x_{и}$, которые согласно формуле (2) сами зависят от Δx_c . Подставляя (2) в (5) и решая получившееся уравнение относительно Δx_c , получаем вместо уравнения (5) следующую зависимость:

$$\Delta x_{c, ж} = 0,77(x_{и} + \Delta x_{E, ж}) + 0,046 \leq 0,2 \text{ мм.} \quad (7)$$

В опытах с твердыми осадками количество насыпанного в осадкомер снега $x_{y, т}$ соответствует полному количеству снега, попавшему в ведро, т. е. величине $x_{и} + \Delta x_{E, т} + \Delta x_c$, где $x_{и}$ включает и ложные осадки. Соответственно для расчета Δx_c следует подставить в формулу (6) значение $x_{y, т}$ по выражению (2), но без слагаемого Δx_m и решить его относительно Δx_c . В результате получим для твердых осадков:

$$\Delta x_{c, т} = 0,0365(x_{и} + \Delta x_{E, т}) + 0,046 \leq 0,15 \text{ мм.} \quad (8)$$

Эти формулы хорошо отображают особенности изменения величины Δx_c по территории СССР. В частности, они дают уменьше-

ние значений Δx_c зимой в районах с низкой температурой воздуха, как это и происходит на самом деле [19]. Так, при скорости ветра 3 м/с, $\tau=5$ ч и относительной влажности воздуха 80% величина Δx_c при температуре осадкомерного ведра -5°C равна 0,074 мм, а при -50°C всего 0,056 мм, т. е. на 32% меньше.

Поправку Δx_m на надувание в ведро осадкомера ложных осадков во время метели можно найти по зависимости ее от интенсивности этого надувания I_m и продолжительности метели τ_m :

$$\Delta x_m = I_m \tau_m. \quad (9)$$

Значения I_m различны для низовых и общих метелей и зависят от скорости ветра на уровне приемного отверстия ведра осадкомера. Такая зависимость установлена для станций с незащищенными от ветра площадками [17] и аналитически выражается соотношениями:

для общих метелей

$$I_m = 0,033 \frac{u_2^{2,2} - 4,2^{2,2}}{u_2 (1 + 0,619u_2 + 0,013u_2^2 + 0,000555u_2^3)}, \quad (10)$$

для низовых метелей

$$I_m = 8,9 \cdot 10^{-6} \frac{u_2^{5,1} - 8,5^{5,1}}{u_2 (1 + 0,19u_2 + 0,013u_2^2 + 0,000555u_2^3)}. \quad (11)$$

Методика определения поправочного коэффициента K на ветровой недоучет твердых и жидких осадков за последние годы разработана достаточно подробно. В работах [1, 18] ветровой коэффициент для жидких осадков $K_{ж}$ представлен в виде функции скорости ветра u_2 во время дождя и параметра N , названного параметром структуры жидких осадков. Этот параметр представляет собой долю жидких осадков, выпавших с интенсивностью не более 0,03 мм/мин, в общей их сумме за рассматриваемый период. Он обычно выражается в процентах. Зависимость $K_{ж}$ от u_2 и N для осадкомера Третьякова аналитически выражается соотношением:

$$K_{ж} = \frac{1}{1 - 0,00038Nu_2}. \quad (12)$$

Это выражение является аппроксимацией кривой, которая проведена по полю экспериментальных точек, полученных по материалам параллельных наблюдений за жидкими осадками с помощью осадкомера Третьякова и наземного дождемера [2]. Аналогичное выражение для дождемера с защитой Нифера отличается от соотношения (12) лишь числовым коэффициентом, который равен 0,00033.

Методика определения величин коэффициента K для твердых осадков предложена Э. Г. Богдановой [1—3]. Эта методика весьма убедительно обоснована большим экспериментальным матери-

алом. Значения этого коэффициента находились путем сопоставления показаний двух осадкомеров. Один из них находится в месте, по возможности защищенном от ветра (защищенный осадкомер), а второй — на открытой местности, где скорость ветра была значительной (открытый осадкомер). При окончательном обобщении материалов учитывалась и та небольшая скорость ветра, которая все же наблюдается на месте установки защищенного осадкомера. При определении коэффициента K использовалось отношение количества осадков, измеренных этими осадкомерами. Значение этого отношения в [1—3] вычислялось по формуле:

$$M' = \frac{K'_{\text{откр}}}{K'_{\text{защ}}} = \frac{(x_n + \Delta x_c)_{\text{защ}}}{(x_n + \Delta x_c)_{\text{откр}}}. \quad (13)$$

При вычислении исправленных величин осадков по формулам (1) и (2) отношение M должно определяться по уравнению

$$M = \frac{K_{\text{откр}}}{K_{\text{защ}}} = \frac{(x_n + \Delta x_c + \Delta x_E - \Delta x_M)_{\text{защ}}}{(x_n + \Delta x_c + \Delta x_E - \Delta x_M)_{\text{откр}}}. \quad (14)$$

Заметим, что расчет исправленных величин осадков с применением коэффициента M' или M дает практически одинаковый результат, за исключением случаев, когда измеренные осадки x_n малы.

Определение величин отношения M , а затем и коэффициента K выполнено нами заново с использованием формулы (14). Исходными данными для таких расчетов послужили имеющиеся в работе Э. Г. Богдановой [2] результаты механизированной обработки материалов наблюдений 32 пар метеостанций, в которых обобщены сведения об атмосферных осадках, выпавших в пределах заданной градации скорости ветра при различной температуре воздуха с интервалом в 1°C . Данные при температуре воздуха ниже -16°C из-за недостаточной статистической обеспеченности пришлось объединить в группы, охватывающие более широкий интервал температуры: от -16 до -23°C и от -23 до -30°C . Величина Δx_E вычислялась по формуле (4) при относительной влажности воздуха 80%, а значения Δx_c находились по формуле (8). Данные, полученные при отрицательных температурах во время сильного ветра ($u_2 > 8$ м/с), не использовались во избежание введения в расчет материалов наблюдений, искаженных наметанием снега в осадкомер во время метели.

Исходные данные и результаты расчета величины отношения M приведены в табл. 1. Можно убедиться, что существует почти линейная зависимость величины $M - 1$ от скорости ветра u_2 при неизменной температуре воздуха. Следовательно, эту зависимость можно представить в виде $M = 1 + au_2$. Значения $a = (M - 1)/u_2$ даны в последней графе табл. 1. Их величины, осредненные по всем u_2 при одной и той же $t_{\text{ос}}$, нанесены на поле рис. 2.

Таблица 1

Скорость ветра у осадкомера, м/с	Число сне- гопадов	Открытый осадкомер, мм		Защищенный осадкомер, мм		$M = \frac{\sum x_{узащ}}{\sum x_{уоткр}}$	$a = \frac{M-1}{u_2}$		
		$x_{и}$	$\Delta x_c + \Delta x_E$	$\sum x_{уоткр}$	$x_{и}$			$\Delta x_c + \Delta x_E$	$\sum x_{узащ}$
+ 3°C > t _{ос} > + 2°C									
0-2	7	18,0	1,7	19,7	21,7	1,1	22,8	1,16	0,107
2-4	25	42,4	9,1	51,5	59,8	4,8	64,6	1,25	0,083
4-6	29	44,1	13,3	57,4	76,9	6,1	83,0	1,44	0,088
6-8	15	46,0	8,3	54,3	86,7	3,8	90,5	1,67	0,096
8-10	8	54,9	5,1	60,0	77,9	2,3	80,2	1,33	0,037
10-12	7	40,1	4,9	45,0	55,6	2,2	57,8	1,28	0,025
12-14	6	72,3	4,7	77,0	121,3	2,1	123,4	1,60	0,046
Средневзвешенное								0,078	
+ 2°C > t > + 1°C									
0-2	38	75,1	8,6	83,7	94,0	5,4	99,4	1,19	0,126
2-4	132	296,5	43,6	340,1	390,7	23,5	414,2	1,22	0,073
4-6	91	230,3	38,8	269,1	329,4	19,1	348,5	1,30	0,060
6-8	50	105,5	25,8	131,3	199,8	12,0	211,8	1,61	0,087
8-10	16	27,6	9,7	37,3	48,8	4,4	53,2	1,43	0,048
10-12	10	22,4	6,8	29,2	47,2	3,0	50,2	1,72	0,065
12-14	22	148,7	14,2	162,9	271,4	7,2	278,6	1,71	0,055
Средневзвешенное								0,091	

$+1^{\circ}\text{C} > t_{oc} \geq 0^{\circ}\text{C}$

0-2	131	293,8	27,5	321,3	359,3	18,2	377,5	1,17	0,113
1-4	268	685,6	81,7	767,3	884,5	45,8	930,3	1,21	0,070
4-6	185	401,5	72,2	473,7	653,0	37,0	696,0	1,46	0,092
6-8	96	256,2	45,1	301,3	455,8	22,1	477,9	1,59	0,084
8-10	50	73,3	28,5	100,8	180,5	13,0	193,5	1,92	0,102
10-12	20	40,3	12,5	52,8	97,5	5,7	103,2	1,95	0,036
12-14	23	83,3	15,6	98,9	212,6	7,1	219,7	2,22	0,094
14-16	7	31,0	5,4	36,4	104,3	2,4	106,7	2,93	0,129
Средневзвешенное									0,088

 $0^{\circ}\text{C} > t_{oc} \geq -1^{\circ}\text{C}$

0-2	68	129,6	13,3	142,9	138,7	9,0	147,7	1,03	0,020
2-4	210	438,0	50,6	497,6	588,0	34,4	622,4	1,25	0,084
4-6	137	236,3	49,3	285,6	408,3	26,3	434,6	1,52	0,104
6-8	88	150,5	37,8	188,3	288,4	19,0	307,4	1,63	0,090
Средневзвешенное									0,082

 $-1^{\circ}\text{C} > t_{oc} \geq -2^{\circ}\text{C}$

0-2	81	135,5	14,9	150,4	175,3	10,3	185,6	1,23	0,153
2-4	268	461,0	71,0	535,0	640,2	42,3	682,5	1,28	0,093
4-6	172	262,2	57,6	319,8	486,5	36,5	523,0	1,64	0,128
6-8	108	147,8	43,2	191,0	325,6	22,1	347,7	1,82	0,117
Средневзвешенное									0,114

Скорость ветра у осадкомера, м/с	Число сне- гопадов	Открытый осадкомер, мм			Защищенный осадкомер, мм			$M = \frac{\sum x_{y, \text{защ}}}{\sum x_{y, \text{откр}}}$	$a = \frac{M-1}{u_2}$
		x_n	$\Delta x_c \pm \Delta x_E$	$\sum x_{y, \text{откр}}$	x_n	$\Delta x_c + \Delta x_E$	$\sum x_{y, \text{защ}}$		
$-2^\circ\text{C} > t_{oc} \geq -3^\circ\text{C}$									
0-2	63	97,3	12,2	109,5	131,0	7,8	138,8	1,27	0,180
2-4	208	331,8	52,4	384,2	464,6	31,6	496,2	1,29	0,097
4-6	154	227,9	48,4	276,3	433,5	26,8	460,3	1,67	0,134
6-8	74	135,0	27,0	162,0	281,3	14,4	295,7	1,83	0,117
Средневзвешенное								0,120	
$-3^\circ\text{C} > t_{oc} \geq -4^\circ\text{C}$									
0-2	101	183,6	16,8	200,4	227,4	12,2	239,6	1,20	0,183
2-4	226	342,8	54,2	397,0	534,0	33,4	567,4	1,43	0,143
4-6	154	196,1	46,2	242,3	419,3	26,0	445,3	1,84	0,168
6-8	76	117,5	26,6	144,1	217,7	14,4	232,1	1,63	0,087
Средневзвешенное								0,140	
$-4^\circ\text{C} > t_{oc} \geq -5^\circ\text{C}$									
0-2	70	116,5	11,1	127,6	140,0	8,4	148,4	1,16	0,106
2-4	217	344,8	48,8	393,6	526,1	31,2	557,3	1,42	0,140
4-6	130	242,9	36,9	279,8	396,2	21,2	417,4	1,49	0,098
6-8	59	72,8	19,5	92,3	155,1	10,8	165,9	1,80	0,114
Средневзвешенное								0,120	

0-2	90	116,6	13,3	$-5^{\circ}\text{C} > t_{oc} \geq -6^{\circ}\text{C}$	129,9	169,6	10,5	180,1	1,39	0,260
2-4	218	322,1	46,0		369,1	467,6	30,5	498,1	1,35	0,117
4-6	141	194,8	38,1		232,9	360,8	22,0	382,8	1,64	0,128
6-8	73	85,7	22,8		108,5	198,3	13,0	211,3	1,96	0,134
								Средневзвешенное		0,147
0-2	72	133,0	10,4	$-6^{\circ}\text{C} > t_{oc} \geq -7^{\circ}\text{C}$	143,4	156,6	8,4	165,0	1,15	0,100
2-4	193	302,1	38,6		340,7	435,6	26,6	462,2	1,36	0,120
4-6	118	114,3	31,0		145,3	246,9	17,9	264,8	1,80	0,110
6-8	61	76,8	18,0		94,8	179,6	10,5	190,1	2,01	0,144
								Средневзвешенное		0,131
0-2	110	162,1	15,2	$-7^{\circ}\text{C} > t_{oc} \geq -8^{\circ}\text{C}$	177,3	200,8	12,6	213,4	1,20	0,133
2-4	199	243,5	37,8		281,3	356,6	26,9	383,5	1,36	0,120
4-6	138	194,5	33,1		227,6	376,4	20,3	396,7	1,74	0,148
6-8	72	83,8	19,6		103,4	169,6	11,9	181,5	1,75	0,107
								Средневзвешенное		0,128
0-2	81	86,3	10,8	$-8^{\circ}\text{C} > t_{oc} \geq -9^{\circ}\text{C}$	97,1	133,8	9,1	142,9	1,47	0,312
2-4	176	229,4	31,3		260,7	368,0	22,9	390,9	1,50	0,167
4-6	111	137,1	24,9		162,0	282,8	15,8	298,6	1,84	0,168
6-8	63	62,9	16,1		79,0	163,9	10,1	174,0	2,26	0,171
								Средневзвешенное		0,195

Скорость ветра у осадкомера, м/с	Число снегопадов	Открытый осадкомер, мм			Защищенный осадкомер, мм			$M = \frac{\sum x_{y, \text{заш}}}{\sum x_{y, \text{откр}}}$	$a = \frac{M-1}{u_2}$	
		x_H	$\Delta x_c + \Delta x_F$	$\sum x_{y, \text{откр}}$	x_H	$\Delta x_c + \Delta x_F$	$\sum x_{y, \text{заш}}$			
— 9°C > $t_{oc} \geq$ — 10°C										
0—2	77	85,4	10,0	85,4	114,5	8,5	123,0	1,29	0,193	
2—4	183	239,8	31,1	270,9	328,8	23,2	352,0	1,30	0,190	
4—6	95	112,2	20,8	133,0	213,6	13,1	226,7	1,71	0,142	
6—8	65	55,0	15,6	70,6	123,7	10,1	133,8	1,90	0,128	
								Средневзвешенное		0,131
— 10°C > $t_{oc} \geq$ — 11°C										
0—2	63	76,7	7,9	84,6	97,9	6,9	104,8	1,24	0,160	
2—4	133	160,2	21,4	181,6	232,3	16,4	248,7	1,37	0,123	
4—6	66	80,3	12,9	93,2	153,0	8,8	161,8	1,74	0,148	
6—8	46	37,1	10,4	47,5	101,3	6,8	108,1	2,28	0,183	
								Средневзвешенное		0,145
— 11°C > $t_{oc} \geq$ — 12°C										
0—2	101	121,8	12,4	134,2	175,9	10,9	186,8	1,39	0,260	
2—4	116	119,2	17,9	137,1	192,6	13,9	206,5	1,51	0,170	
4—6	95	85,4	17,2	102,6	175,1	12,2	187,3	1,82	0,164	
6—8	45	41,1	9,6	50,7	96,4	6,3	102,7	2,02	0,147	
								Средневзвешенное		0,191

0-2	63	83,9	7,6	$-12^{\circ}\text{C} > t_{oc} \geq -13^{\circ}\text{C}$	91,5	86,1	6,7	92,8	1,02	0,014
2-4	98	102,6	14,7		117,3	166,9	11,5	178,4	1,53	0,177
4-6	71	47,0	12,2		59,2	114,7	8,8	123,5	2,09	0,218
6-8	40	34,0	8,2		42,0	90,8	5,5	96,3	2,30	0,162
									Средневзвешенное	0,148
0-2	71	94,7	8,4	$-13^{\circ}\text{C} > t_{oc} \geq -14^{\circ}\text{C}$	103,1	111,6	7,5	119,1	1,15	0,100
2-4	113	106,3	15,4		122,7	199,1	13,0	212,1	1,73	0,243
4-6	62	69,1	10,3		79,4	140,8	7,6	148,4	1,78	0,156
6-8	23	16,2	4,5		20,7	40,3	3,1	43,4	2,10	0,157
									Средневзвешенное	0,178
0-2	53	57,8	6,2	$-14^{\circ}\text{C} > t_{oc} \geq -15^{\circ}\text{C}$	64,0	71,0	5,6	76,6	1,20	0,133
2-4	85	98,6	11,9		110,5	119,6	9,7	129,3	1,15	0,050
4-6	36	28,9	6,8		34,7	69,3	4,4	73,7	2,12	0,224
6-8	20	7,6	3,8		11,4	25,2	2,6	27,8	2,44	0,206
									Средневзвешенное	0,121
0-2	38	36,7	4,4	$-15^{\circ}\text{C} > t_{oc} \geq -16^{\circ}\text{C}$	41,1	55,9	4,0	59,9	1,46	0,306
2-4	62	72,0	8,4		80,4	106,3	6,9	113,2	1,41	0,136
4-6	29	30,5	4,5		35,0	50,4	3,4	53,8	1,54	0,108
6-8	29	17,9	5,2		23,1	47,6	3,7	51,3	2,22	0,176
									Средневзвешенное	0,179
0-2	298	265,5	32,9	$-16^{\circ} > t_{oc} \geq -30^{\circ}\text{C}$	297,9	395,4	30,7	426,2	1,42	0,280
2-4	327	305,2	40,8		346,0	483,4	35,3	518,7	1,50	0,166
4-6	150	122,7	21,8		144,5	252,0	17,3	269,3	1,86	0,172
6-8	68	38,1	10,1		48,2	109,5	7,5	117,0	2,43	0,204
									Средневзвешенное	0,211

Примечание. Средняя скорость ветра в интервале 0-2 м/с принята равной 1,5 м/с.

Согласно выражению (14), величина M является отношением значений ветровых коэффициентов на открытом и сопряженном защищенном участках. Величину M можно считать функцией только скорости ветра u_2 на уровне осадкомера и температуры воздуха t_{oc} во время выпадения осадков. Следовательно, ветровой коэффициент K является функцией тех же параметров: u_2 и t_{oc} . Его значения на защищенном участке отличаются от значений на открытом участке лишь потому, что на первом скорость ветра меньше. Как показано в работе [22], скорость ветра на защищенном участке можно вычислить, умножив скорость ветра открытого участка на коэффициент b , и величину M записать в виде:

$$M = 1 + au_2 = \frac{f(u_2, t_{oc})}{f(bu_2, t_{oc})},$$

откуда

$$a = \frac{1}{u_2} \left[\frac{f(u_2, t_{oc})}{f(bu_2, t_{oc})} - 1 \right]. \quad (15)$$

Таким образом, зависимость $K=f(u_2, t_{oc})$ должна быть такой, чтобы удовлетворять соотношению (15) и полю эмпирических зна-

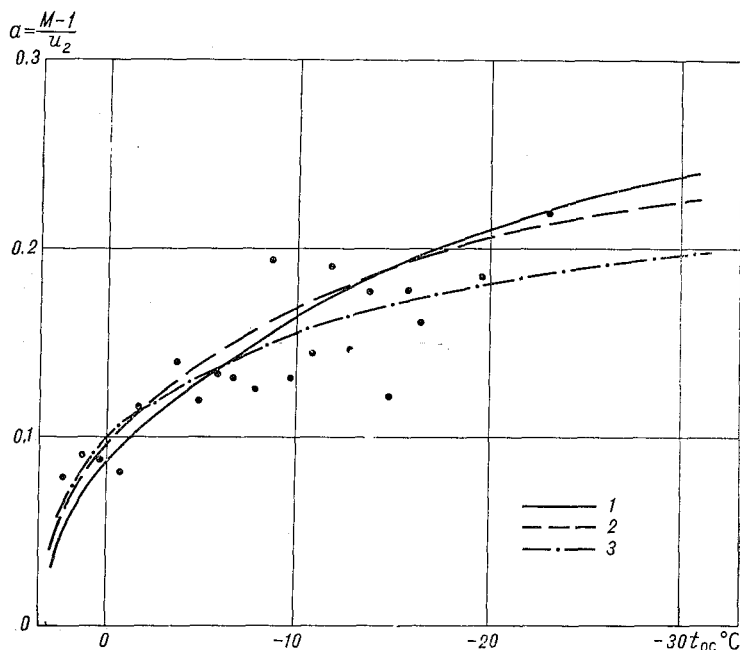


Рис. 2. Сопоставление наблюдаемых значений величины $a = (M-1)/u_2$ с кривыми $a=f(t_{oc})$ при $u_2 = \text{const}$, вычисленными по формуле (15).

1 — при $u_2 = 2,2$ м/с, 2 — при $u_2 = 6,0$ м/с, 3 — при $u_2 = 10,0$ м/с.

чений a на рис. 2. Вообще говоря, зависимостей, отвечающих этим требованиям, может быть много. В работе [4] эта зависимость представлена ступенчатой кривой, где K увеличивается с t_{oc} скачкообразно. Это соответствует физике образования твердых осадков. Однако для использования в расчетах на ЭВМ удобнее, чтобы эта зависимость выражалась одной монотонной аналитической функцией. Ее можно найти подбором. Для защищенных участков рассматриваемых 32 пар метеостанций среднее значение коэффициента b можно принять равным 0,25. После ряда попыток для $K=f(u_2, t_{oc})$ получилась зависимость вида

$$K = 1 + [0,35 - 0,25 \exp(0,045t_{oc})]u_2^{1,2}. \quad (16)$$

На рис. 2 нанесены кривые $a=f(t_{oc})$, вычисленные для разных u_2 по уравнению (15) с использованием выражения (16). Как видно, совпадение расчета с опытными точками достаточно хорошее. Известно, что эмпирическое расчетное соотношение можно считать определенным в той области значений параметров, которая охвачена эмпирическим материалом. Уравнение (16) определено, следовательно, для значений температуры воздуха от $+2$ до -30°C и скорости ветра на высоте 2 м от 0 до 8 м/с, но практически его можно экстраполировать, по крайней мере, до скорости ветра порядка 12 м/с, если в измеренные величины осадков ввести поправки не только на смачивание и испарение, но и на искажающее влияние метелей.

Зависимость (16) проверена также путем сопоставления с эталоном слоя исправленных по этой формуле осадков за безоттепельные зимы. За эталон принимался слой воды в снеге, лежащем в конце зимы в однородных зарослях тростника на достаточно большом удалении (более 200 м) от краев зарослей, где уже нет метелевого переноса снега, с учетом слоя испарившегося за зиму снега. В течение расчетного периода не было оттепелей, которые могли бы уменьшить запас воды в снеге.

Как показали измерения скорости ветра вблизи поверхности снега в зарослях тростника на оз. Зайсан в феврале 1970 г., здесь практически движения воздуха не ощущалось и чашечки ручного анемометра не вращались даже тогда, когда над открытой частью озера скорость ветра доходила до 10 м/с. На гладких стеблях тростника, лишенных зимой листьев, снег не задерживался. Можно считать, что в зарослях тростника слой воды в снеге плюс слой воды, испарившейся с поверхности снежного покрова за зиму, действительно является эталоном истинного количества твердых атмосферных осадков за зиму.

Снегоъемки в зарослях тростника выполнялись в 1970—1971 гг. на озерах Зайсан и Алаколь. Протяженность снегомерного маршрута равнялась 1 км, измерение высоты снега проводилось через 10 м, плотности — через 50 м. Расчет испарения воды с поверхности снежного покрова выполнялся по формуле П. П. Кузьмина [6], причем максимальная упругость водяного пара e_0 опре-

делялась по температуре поверхности снега, найденной из уравнения теплового баланса этой поверхности [6]. Упругость водяного пара e , содержащегося в воздухе на высоте 2 м, находилась по относительной влажности воздуха и его температуре обычным способом. При составлении теплового баланса учитывалось затенение поверхности снега стеблями тростника, для чего были проведены

Таблица 2

Сопоставление с эталоном величин слоя твердых осадков за зиму, измеренных осадкомером Третьякова и исправленных разными способами

Метод и место измерения	Слой твердых атмосферных осадков за зиму							
	ст. Карасуат				ст. Уч-Арал		ст. Алаколь	
	зима 1969-70 г.		зима 1970-71 г.		зима 1970-71 г.		зима 1970-71 г.	
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
Снегосъемка в зарослях тростника + испарение за зиму . .	56,0	100	98,2	100	114,2	100	114,2	100
Измеренные осадкомером Третьякова осадки на метеостанции . .	20,1	36	46,2	47	62,4	55	78,8	69
То же, с введением поправок способом, изложенным в [20]	30,4	54	61,1	62	115,3	101	101,8	89
То же, с введением поправок по методике, изложенной в данной статье	46,1	82	96,7	98	113,4	99	131,1	115

специальные параллельные наблюдения за суммарной солнечной радиацией у поверхности снега в зарослях тростника и на открытом месте. Скорость ветра в зарослях тростника принималась равной нулю. Сведения о метеорологических элементах, наблюдавшихся во время выпадения осадков, и слой измеренных осадкомером Третьякова твердых атмосферных осадков взяты по материалам наблюдений метеостанций Карасуат, Уч-Арал и Алаколь.

Сравнение с эталоном сумм твердых осадков за зиму, полученных разными способами, сделано в табл. 2. Значения слоя осадков, измеренного осадкомером Третьякова, существенно преуменьшены, иногда в 2 и даже в 3 раза. Исправленные по методике,

изложенной в настоящей статье, величины осадков удовлетворительно совпадают с эталоном, расхождение равно: среднее — 8%, максимальное — 18%.

Такие же выводы получаются при сопоставлении исправленных и эталонных значений слоя твердых осадков, измеренного за от-

Таблица 3

Сопоставление эталона с величиной слоя твердых атмосферных осадков за отдельные снегопады, полученной разными способами на площадке метеостанции Большое Алма-Атинское озеро

Период снегопада	Твердые атмосферные осадки за отдельные снегопады						
	эталон	осадкомер Третьякова					
		без поправок		с поправками по работе [20]		с поправками по методике, изложенной в данной статье	
	мм	мм	% к эталону	мм	% к эталону	мм	% к эталону
9/III 1970г.	8,2	6,7	82	7,4	91	7,8	96
11	5,9	4,6	78	5,4	92	6,2	105
22	5,1	4,7	92	5,1	100	5,1	100
26	30,6	26,0	85	30,3	99	30,7	100
3—4/IV 1970г	9,6	8,7	91	9,4	98	10,1	105
5	7,9	6,8	86	7,3	92	8,0	101
7—8	9,9	7,8	79	9,8	99	10,3	104
12—13	9,9	7,5	76	8,2	83	9,0	91
16—19	13,9	12,2	88	13,3	96	14,4	104
21—23	39,6	34,4	87	37,3	94	38,9	98
26—29	27,5	21,5	78	24,3	88	25,0	91
28/XI 1970г.	2,6	2,1	81	2,4	92	2,6	100
9/XII 1970г.	5,6	4,7	84	5,2	93	5,4	96
5/I 1971г.	6,7	5,9	88	6,8	101	6,8	101
10/II	11,5	10,5	91	11,5	100	11,5	100
15	3,3	2,7	82	3,2	97	3,4	103
2—3/III	36,4	33,3	92	35,7	98	36,7	101
Среднее				95,5			99,7

дельные снегопады на ст. Большое Алма-Атинское озеро, расположенной в горах Заилийского Алатау (табл. 3). За эталон здесь принималось количество воды в снеге, полученное весовым способом. Методика таких измерений описана в работе [8].

Среднегорный район Заилийского Алатау, где расположена площадка метеостанции Большое Алма-Атинское озеро, отличается

ся частыми и большими снегопадами при сравнительно тихой погоде. Слой выпавших за один снегопад осадков часто достигает 10 мм и более, а метелевого переноса снега не бывает совсем. В этих условиях слой осадков, найденный весовым способом за один снегопад, является надежным эталоном. Результаты сопоставления расчета с эталоном (см. табл. 3) подтверждают правильность методических положений, изложенных в настоящей статье.

Наиболее полное использование исходной информации при вычислении исправленных величин осадков по описанной выше методике выглядит так.

По записи в книжке наблюдений определяется период выпадения осадков и их испарения из осадкомерного ведра. Обычно они бывают различными. За период выпадения осадков находятся средние значения температуры воздуха и скорости ветра, а за период испарения осадков из осадкомерного ведра — средние значения температуры, влажности воздуха, скорости ветра, общей и нижней облачности. Затем по записям плевниографа определяется параметр структуры выпавших жидких осадков N и по методике, приведенной в работе [5], вычисляется температура осадкомерного ведра, средняя за период испарения из него осадков. Находятся поправки Δx_E и Δx_M по формулам (7) и (8), затем поправка Δx_c , после чего по формуле (12) или (16) вычисляется поправочный коэффициент на ветровой недоучет осадков K и, наконец, по основной зависимости (1) находится исправленная величина атмосферных осадков x .

Описанный расчет величины x весьма трудоемок и требует выборки большого информационного материала. Для облегчения расчета составлена программа вычисления величины x на ЭВМ «Минск-22», однако это не уменьшает большого объема работы по выборке исходных данных из таблиц ТМ-1 или книжек КМ-1 и таблиц записи результатов наблюдений по плевниографу. Кроме того, эти наблюдения часто вообще отсутствуют. По-видимому, описанную выше полную методику расчета величин x можно применять в особо важных случаях, например, при сопоставлении результатов наблюдений с эталонными измерениями осадков. Для массовых же расчетов необходимо существенно упростить методику.

В настоящее время должны решаться две основные задачи: вычисление x за прошлые годы наблюдений и определение x при срочных текущих наблюдениях за атмосферными осадками на сети гидрометеостанций и постов. Подход к решению этих задач различен. Вычисление x за прошлые годы можно организовать с помощью ЭВМ, используя имеющийся массив перфокарт со срочными данными наблюдений. При этом неизбежно придется несколько уменьшить объем и качество исходной информации, так как на перфокартах нет сведений о начале и конце периода выпадения осадков и о параметре N . Поэтому продолжительность периода испарения осадков из ведра осадкомера и метеорологические харак-

теристики, определяющие величину испарения осадков из ведра осадкомера, придется взять осредненными за период между сроками наблюдений за осадками. Величину параметра N можно будет оценить по косвенным связям.

Для практического внедрения методики определения x при срочных наблюдениях на сети гидрометеостанций и постов требуется существенное упрощение методики, что может быть сделано за счет разумного уменьшения точности определения x при уменьшении объема исходной информации.

Авторы предполагают изложить такую упрощенную методику в следующей статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданова Э. Г. Исследование ветровой погрешности измерения осадков.—«Тр. ГГО», 1966, вып. 195, с. 40—62.
2. Богданова Э. Г. Учет ветровой погрешности измерения осадков при вычислении их средних многолетних значений.—«Труды ГГО», 1968, вып. 215, с. 45—56.
3. Богданова Э. Г. Оценка надежности характеристик ветрового недоучета твердых осадков.—«Труды ГГО», 1968, вып. 215, с. 114—124.
4. Богданова Э. Г. Анализ точности определения ветровой поправки к результатам измерения твердых осадков.—«Труды ГГО», 1971, вып. 260, с. 24—34.
5. Браславский А. П., Шергина К. Б. Расчет поправок на испарение при измерении атмосферных осадков осадкомером Третьякова.—В кн.: Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства, вып. 7. Алма-Ата, «Казахстан», 1970.
6. Браславский А. П. Исследования и расчеты гидрологического режима озер и водохранилищ. Доклад, представленный на соискание ученой степени доктора технических наук по совокупности опубликованных работ. Фотоофсетная лаборатория УГМС КазССР, Алма-Ата, 1966.
7. Колесников Е. И. О точности учета твердых осадков в среднегорном поясе Зайлийского Алатау.—Сборник работ Алма-Атинской ГМО, 1972, вып. 6.
8. Методические указания Управления гидрометслужбы. Составление водных балансов речных бассейнов в период половодья, летней и зимней межени, значительные дождевые паводки, гидрологический год. Л., 1972. 34 с.
9. Нечаев И. Н. Корректировка месячных и годовых норм осадков поправками на смачивание осадкомерных сосудов.—«Труды ГГО», 1966, вып. 195, с. 5—39.
10. Нечаев И. Н. Исследование погрешности измерения атмосферных осадков, вызванной испарением их из прибора.—«Тр. ГГО», 1968, вып. 215, с. 73—87.
11. Нечаев И. Н. Учет потерь на испарение из осадкомера при измерении осадков.—«Тр. ГГО», 1969, вып. 244, с.
12. Опыт корректировки норм осадков.—«Тр. ГГО», 1968, вып. 215, с. 3—15. Авт.: Л. Р. Струзер, Е. А. Федорова, Э. Г. Богданова, И. Н. Нечаев.
13. Потери осадков на смачивание осадкомерного ведра.—«Метеорология и гидрология», 1967, № 3, Авт.: Н. Н. Брызгин, Л. П. Кузнецова, Г. А. Максимов, И. Н. Нечаев, Ц. А. Швер.
14. Протасьев (отв. ред.). Водный баланс и водные ресурсы СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1967, с. 199.
15. Справочник по климату СССР. Ч. 4. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Вып. 1—34. Л., Гидрометеоиздат, 1967—1970.
16. Струзер Л. Р. Первые результаты корректировки норм атмосферных осадков на территории СССР.—«Изв. АН СССР. Сер. геогр.» 1967, № 3, с. 90—95.

17. Струзер Л. Р. О способах учета ошибок осадкомеров, вызванных попаданием в них «ложных» осадков во время метели.— «Тр. ГГО», 1970, вып. 260, с. 35—60.

18. Струзер Л. Р., Нечаев И. Н., Богданова Э. Г. Систематические погрешности измерения атмосферных осадков.— «Метеорология и гидрология», 1965, № 10, с. 50—54.

19. Струзер Л. Р., Нечаев И. Н. О введении поправки на смачивание стенок водосборного сосуда.— «Тр. ГГО», 1968, вып. 215, с. 57—72.

20. Указания для управлений гидрометеорологической службы по вычислению поправок к измеренным величинам атмосферных осадков. Л., Гидрометеоиздат, 1969, 54 с.

21. Федорова Е. А., Иванова Н. А. Методика вычисления средних для определенной территории поправок к нормам осадков.— «Тр. ГГО», 1968, вып. 125, с. 16—29.

22. Федорова Е. А. Учет степени защищенности станций при вычислении скорости ветра на уровне установки осадкомера.— «Тр. ГГО», 1968, вып. 215, с. 63—69.

УЧЕТ ВИДА ОСАДКОВ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЕТРОВОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

Ветровая ошибка осадкомера зависит, как известно [1], от скорости ветра и от равновесной скорости падения элементов осадков. Последняя на станциях не измеряется, поэтому приходится пользоваться ее косвенными характеристиками. Для жидких осадков это параметр структуры N , для твердых — температура воздуха. Ветровая ошибка при смешанных осадках считается независимой от особенностей их структуры. Для ее вычисления применяется одна кривая, выражающая зависимость ветрового коэффициента для смешанных осадков только от скорости ветра. Она сильно отличается от значений ветрового коэффициента как для твердых, так и для жидких осадков. Между тем до последнего времени, в том числе и в Справочнике по климату СССР, учет вида осадков при определении ветровой поправки к месячной норме осадков производился следующим, недостаточно точным, образом. Для каждой декады месяца отдельно определялся преобладающий вид осадков. При этом декада относилась к декадам с твердыми или жидкими осадками, если количество их составляет 75% и более от общей суммы выпадающих осадков. Если количество осадков какого-то одного вида меньше 75% от общей их суммы, то принималось, что данная декада со смешанными осадками.

В работах Ц. А. Швер [2, 3] даны карты и таблицы, позволяющие определить для всей территории СССР с точностью до декады периоды с преобладанием жидких, твердых и смешанных осадков. В переходные сезоны, когда в отдельный месяц входят декады с преобладанием осадков разных видов, ветровая поправка определялась для каждой из декад в соответствии с конкретным видом осадков, а затем три полученных ее значения осреднялись с равным весом и уже среднее значение поправки вводилось в месячную сумму осадков.

Очевидно, что в таком способе расчета поправки есть определенная неточность, обусловленная разной интенсивностью выпадения жидких, твердых и смешанных осадков. Осредняя поправку для всех видов осадков с равным весом и вводя ее затем в месяч-

ную сумму, мы тем самым предполагаем, что доли осадков разных видов в этой месячной сумме одинаковы, хотя такое положение совсем не всегда осуществляется. При одинаковой продолжительности осадков разных видов суммы их могут быть весьма различными. Кроме того, даже в декаду с твердыми или с жидкими осадками осадки другого вида могут, как уже сказано, составить до 25% от суммы. Учет этого обстоятельства может заметно отразиться на величине поправки в конкретный месяц.

Ветровую поправку можно получить с большей точностью, если рассчитывать ее с учетом веса вклада осадков разных видов в ме-

Таблица 1

Средние по территории УГМС годовые и сезонные суммы осадков, исправленные всеми видами поправок при менее точном (x_{Γ} и $x_{\text{х.п}}$) и более точном (x'_{Γ} и $x'_{\text{х.п}}$) способах учета вида осадков

УГМС	Количество станций, использованных для осреднения	Годовая сумма осадков			Сумма осадков за холодный период		
		x_{Γ}	x'_{Γ}	$(x_{\Gamma} - x'_{\Gamma})$ в % к x_{Γ}	$x_{\text{х.п}}$	$x'_{\text{х.п}}$	$(x_{\text{х.п}} - x'_{\text{х.п}})$ в % к $x_{\text{х.п}}$
Уральское	7	658	662	-1	217	214	1
Северное	10	702	697	1	245	235	4
Северо-Западное	5	803	793	1	310	296	1
Эстонской ССР	4	736	723	2	264	254	4
Латвийской ССР	3	844	831	2	353	335	5
Литовской ССР	2	728	730	0	250	240	4
Белорусской ССР	6	792	764	4	314	284	10
ЦЧО	3	725	694	4	309	275	11
Верхне-Волжское	4	746	745	0	294	284	3
Приволжское	8	564	568	-1	228	224	2
Украинской ССР	14	648	634	2	250	233	7
Северо-Кавказское	4	568	545	4	284	254	11
Омское	12	625	619	1	187	186	1
Западно-Сибирское	10	580	582	0	170	169	1
Красноярское	11	608	602	1	171	170	1
Иркутское	5	466	467	0	107	107	0
Забайкальское	6	407	411	-1	52	52	0
Якутское	17	373	373	0	80	80	0
Колымское	4	464	458	1	153	153	0
Дальнего Востока	8	682	684	0	105	104	1
Приморское	2	805	804	0	164	159	3
Казахской ССР	9	294	287	2	112	104	7

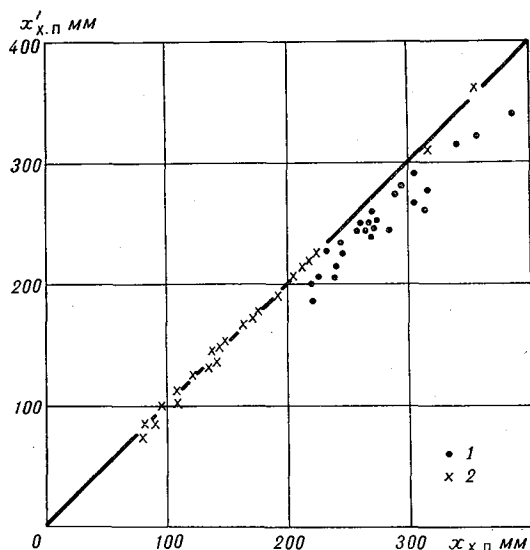
сячную сумму осадков. В настоящее время такой учет возможен, так как соответствующие проработки произведены для всей территории СССР механизированным путем на основе имеющегося массива перфокарт за 25-летний период. Это позволило поместить в Справочнике по климату СССР специальную таблицу «Твердые, жидкие и смешанные осадки в процентах от общего количества». В ней для каждого месяца года по достаточно густой сети станций приведено выраженное в процентах от месячной суммы количество осадков разных видов. Эти величины и следует, строго говоря, использовать в качестве веса при расчете ветровой поправки.

Следует оценить степень изменения исправленных величин осадков, связанную с этим уточнением расчета ветровой поправки. Для получения такой оценки проделаны соответствующие расчеты по материалам 155 станций, расположенных по всей территории СССР. Годовые суммы x_r и суммы осадков за холодный период $x_{х.п.}$, рассчитанные ранее применявшимся способом, сопоставлены с суммами x_r и $x_{х.п.}$ для тех же периодов, рассчитанными уточненным способом с учетом веса количества осадков разных видов.

Результаты расчетов показали, что годовые суммы осадков, рассчитанные уточненным способом, либо равны годовым сум-

Рис. 1. Сравнение средних многолетних сумм осадков за холодный период, рассчитанных при менее точном ($x_{х.п.}$) и более точном ($x_{х.п.}$) способах учета вида осадков.

Данные станций УГМС: 1 — Украинской ССР, Белорусской ССР, Северо-Кавказского, ЦЧО; 2 — Северного Казахстана, Западно-Сибирского и Уральского УГМС.



мам, полученным более грубым способом, либо меньше их ($x_r \leq x_r$). Различия не превышают 2—4%, причем практически они наблюдаются лишь на ЕТС, а на АТС почти везде сравниваемые суммы одинаковы (табл. 1).

Суммы осадков за холодный период (границы периода соответствуют указанным в Справочнике по климату СССР) разли-

чаются заметнее, причем и в этом случае более точный учет вида осадков приводит лишь к уменьшению, но не к увеличению их сезонной суммы, т. е. $x'_{х.п} \leq x_{х.п}$ (табл. 1). Случаев обратного соотношения почти нет. Как и следовало ожидать, $x'_{х.п}$ и $x_{х.п}$ практически одинаковы в условиях континентального климата с низкими зимними температурами и резкой сменой сезонов. Наибольшие различия между $x_{х.п}$ и $x'_{х.п}$, достигающие иногда 15—20% от сезонной суммы осадков, наблюдаются в районах с неустойчивой зимой (Украина, Белоруссия, Юг ЕТС, Северный Кавказ). В качестве иллюстрации на рис. 1 приведен график связи между $x'_{х.п}$ и $x_{х.п}$, построенный по данным станций, расположенных как на ЕТС так и на АТС. Упомянутое различие проявляется вполне наглядно. Уточненные суммы $x_{х.п}$ меньше $x_{х.п}$ на территориях УГМС Украинской ССР, Белорусской ССР, Северо-Кавказского, ЦЧО и практически равны $x_{х.п}$ на территориях Западно-Сибирского, Уральского УГМС и Северного Казахстана. Расчеты показали, что $x'_{х.п} = x_{х.п}$ по всей Сибири и на Дальнем Востоке. Лишь в Приморье разница между ними составляет 2—3%.

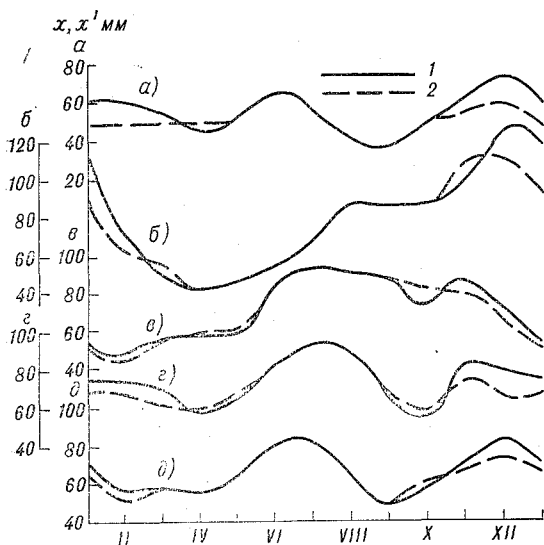


Рис. 2. Годовой ход исправленных сумм осадков.

1 — кривая, построенная по x_M ; 2 — то же, по x'_M ; а — Ростов-на-Дону, б — Лиеная, в — Валдай, г — Минск, д — Курск.

Наибольший эффект уточненный способ учета видов осадков дает, разумеется, в переходные месяцы года. Если выбрать такие месяцы, для которых по данным Справочника как доля твердых, так и доля жидких осадков меньше 75% от месячной суммы осад-

ков, то на корреляционном графике, построенном аналогично рис. 1, проявляются в общем те же закономерности. Данные станций, расположенных на АТС, хотя и с заметным разбросом, но группируются в общем симметрично по обе стороны от биссектрисы координатного угла. Лишь при больших месячных суммах осадков x_m порядка 60—80 мм обнаруживается не сильно выраженное систематическое смещение в сторону больших значений x'_m . В этой области $x'_m \geq x_m$. Для станций, расположенных на ЕТС, и для переходных месяцев года сохраняется соотношение $x'_m \leq x_m$, причем разность $(x_m - x'_m)$ составляет в среднем 5—7 мм, или около 10%. Сам график из соображений экономии места здесь не приводится.

Значение уточненного способа учета вида осадков особенно велико при анализе среднего многолетнего годового хода исправленных величин осадков. В качестве примера на рис. 2 приведен годовой ход исправленных норм осадков на станциях Ростов-на-Дону, Лиепая, порт, Валдай, Минск и Курск. Выбраны станции, где эффект сказывается заметно. На графике для каждой станции показаны две кривые: одна построена по значениям x_m , другая — по x'_m . Обращает на себя внимание заметное снижение зимнего максимума исправленных величин осадков и некоторое сглаживание кривой годового хода за счет выравнивания ее в переходные месяцы года.

ВЫВОДЫ

Правильный учет доли количества осадков разных видов (жидкие, твердые, смешанные) при вычислении ветровой поправки приводит к следующим результатам.

1. На ЕТС повсеместно, особенно на западе и юге, годовые суммы исправленных величин осадков уменьшаются в среднем на 2—3% либо остаются без изменения. В отдельных случаях это уменьшение доходит до 6—8%.

Суммы осадков за холодный период уменьшаются на ЕТС еще заметнее — в среднем на 4—8%, а в отдельных случаях — на 18—20% (Ростов-на-Дону, Одесса, Херсон). На АТС эти суммы, как правило, остаются неизменными.

2. Существенные изменения происходят в годовом ходе исправленных величин осадков. Уточнение расчета ветровой поправки заметно снижает зимний максимум осадков и несколько сглаживает кривую годового хода, выравнивая ее в переходные месяцы.

3. На всей АТС, начиная с Урала и до самого Дальневосточного побережья, и годовые, и сезонные суммы исправленных величин осадков практически не меняются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Струзер Л. Р., Нечаев И. Н., Богданова Э. Г. Систематические погрешности измерения атмосферных осадков.— «Метеорология и гидрология», 1965, № 10, с. 50—54.
2. Швер Ц. А. Исследование результатов наблюдений по дождемеру и осадкомеру. Л., Гидрометеониздат, 1965. 170 с.
3. Швер Ц. А. Твердые, жидкие и смешанные осадки на территории СССР.— «Тр. ГГО», 1968, вып. 215, с. 30—44.

ГОДОВОЕ КОЛИЧЕСТВО ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ СССР ПО ИСПРАВЛЕННЫМ ДАННЫМ

В последние годы весьма актуальным для всех стран, и для Советского Союза в том числе, стал вопрос об учете ресурсов пресных вод. Для решения этой задачи исследователи уже давно направляют свои усилия на уточнение сведений о приходной части водного баланса — атмосферных осадках.

О. А. Дроздов еще в 1948 г. в известной работе [4], посвященной картированию осадков, указывал, что оценка количества осадков за холодный период, искажаемая выдуванием твердых осадков из дождемера, требует уточнения. Эта же мысль подчеркнута им и позднее в работе по методике обработки данных об осадках [5]. Уточнение может проводиться по данным о количестве и годовом ходе осадков на станциях, площадки которых достаточно хорошо защищены от ветра. Однако такие станции имеются далеко не во всех физико-географических районах. Поэтому в методике картирования осадков стало уже общепринятым использование различных косвенных способов уточнения информации, содержащейся в данных осадкомерной сети. Для уточнения помимо учета рельефа привлекаются сведения о снегозапасах, лесистости, растительной и почвенной зональности, в горных районах — сведения о речном стоке, высоте снеговой линии и др. Подобные сведения метеорологического характера дают, конечно, лишь приближенную оценку количества осадков, особенно в горных районах. Следует отметить, что почти всегда использование косвенных способов уточнения приводит к результату одного знака — к завышению расчетных данных по сравнению с данными осадкомерной сети. Несмотря на все способы уточнения осадков, значения последних сравнительно надежны лишь для районов с мягким климатом и для значительной части лесной зоны. Для остальных районов по-прежнему необходимо совершенствовать методику учета осадков.

Для территории СССР в 1965 г. были предложены [9, 13] методы введения поправок к средним многолетним суммам осадков.

Эти методы использовались при составлении таблицы 1а в части IV Справочника по климату СССР [11], в которые вошли две поправки — на смачивание стенок водосборного сосуда и ветровая поправка. В 1969 г. разработан [8] способ учета потерь собранных осадков на их испарение из сосуда. Поэтому в настоящее время представляется возможным построить карту осадков по территории СССР, где в измеренные их значения внесены все три поправки. Первые попытки построить подобные карты были сделаны в 1967 [3] и 1968 гг. [13]. Л. Р. Струзер и др. в работах [9, 13] использовали данные всего только 240 станций; он отметил, что карта весьма схематична, особенно на Азиатской территории СССР. А. П. Бочковым в работе [3] для построения карты использованы данные уже 2300 станций, но карта все равно получилась схематичной и для ряда мест вызывает существенные замечания, в частности для правобережья Енисея и Камчатки.

В настоящей работе вниманию читателя предлагается новая годовая карта исправленных сумм осадков для территории СССР. Ее рабочий экземпляр выполнен в масштабе 1 : 7 500 000, а для горных районов Кавказа, Крыма, Карпат, Средней Азии, Алтая и Саян — в масштабе 1 : 3 500 000, т. е. в масштабе достаточно крупном, чтобы можно было использовать данные почти всей осадкомерной сети СССР — всего 10 821 пункта. Исходными данными послужили средние годовые суммы осадков, помещенные в 34-х выпусках Справочника [11] в таблице 1а «Среднее количество осадков с поправками к показаниям осадкомеров». Как известно, эти суммы представляют собой приведенные к длиннорядным нормы годовых сумм осадков, исправленные введением ветровой поправки и поправки на смачивание стенок водосборного сосуда. В них устранена неоднородность рядов осадков, вызванная сменой осадкомерных приборов, которая произошла на всей территории СССР в 1952—1954 гг. [15]. К этим нормам при составлении карты добавлялись поправки, учитывающие потери осадков на испарение. Они снимались с годовой карты поправок на испарение, построенной И. Н. Нечаевым.

Следует подчеркнуть, что при построении карты не учтен четвертый вид поправки — поправки на так называемые «ложные» осадки, т. е. на снег, наметаемый в осадкомер во время метели. Однако в [14] показано, что на большей части территории СССР игнорирование этого вида ошибок удачно компенсируется тем, что ветровая поправка к суммам твердых осадков при составлении Справочника [11] рассчитывалась по несколько преуменьшенным кривым ее зависимости от скорости ветра. Следует подчеркнуть также, что на Крайнем Севере, вдоль побережья Ледовитого океана, карта хорошо согласуется с картой осадков для Советской Арктики, составленной в 1972 г. Н. Н. Брызгиным по осадкомерным данным, исправленным всеми видами поправок, в том числе важнейшими для этого района поправками, учитывающими влияние метелей [2].

В отличие от предшествующих работ при построении предлага-

емой карты данные о снегозапасах не привлекались даже для Крайнего Севера.

Оказалось также, что в горных районах после введения поправок и применения плювиометрических градиентов, рассчитанных по исправленным данным, осадки везде стали больше, чем сток, и притом на величину, близкую к возможному испарению. Тем самым отпала необходимость в использовании приближенного способа их уточнения по стоку рек.

Правильность получившейся карты осадков для Кавказа подтверждается сравнением с независимо полученными картами стока и испарения при замыкании водного баланса. Так, в сложном бассейне р. Риони невязка водного баланса составляет 82 мм (средний слой осадков 1702 мм, среднее испарение 650 мм и сток 970 мм), т. е. около 5%. В целом по Западному Кавказу невязка равна всего 40 мм.

При составлении карты исправленных осадков, помимо значений осадков на станциях и постах, приведенных в Справочнике, привлекались дополнительно лишь региональный атлас [1] и некоторые отдельные работы [6, 7, 10—12].

Поскольку карта осадков столь крупного масштаба построена впервые по данным более 10 000 пунктов, исправленным всеми видами поправок, представлялось необходимым специально оценить вклад поправок. С этой целью по той же сети станций была составлена в таком же масштабе карта осадков, не содержащая поправок. Для построения послужили данные таблиц 1 Справочника [11] «Среднее количество осадков, приведенное к показаниям осадкомера», т. е. нормы измеренных осадков, приведенные к рядам наблюдений в 75 лет, где также устранена неоднородность рядов осадков, вызванная сменой приборов [15]. Косвенные способы уточнения карты не использовались. Таким образом, сравнение двух построенных карт дает представление о вкладе поправок в чистом виде. Из-за недостатка места сама карта измеренных годовых сумм осадков в настоящей работе не приводится, но даются основные выводы из сопоставления карты исправленных годовых сумм осадков (рис. 1) с ранее опубликованными [1, 4] картами.

Сравнение показывает, что повсеместно количество осадков за счет поправок существенно увеличивалось.

На севере Кольского полуострова, где проходила изогипета 400 мм и было показано на всем побережье уменьшение осадков, количество осадков увеличивается до 600 мм, а в районе полуострова Рыбачий и на западном побережье Кольского полуострова — до 700 мм. Кроме того, заметно, что понижение осадков в береговой зоне занимает существенно меньшую площадь. В Хибинах и на северо-западном побережье полуострова количество осадков увеличивается до 700 мм, а в горном массиве Расвумчорр (Юкспор и Центральная) достигает 1400 мм. Заметим, что по измеренным данным здесь отмечалось лишь около 900 мм. Почти на 300 мм увеличивается количество осадков за счет поправок на

северном побережье Кольского полуострова (станции Териберка устьевая и Харлов, остров) — от 400 до 680 мм.

Между 60 и 65° с. ш. на ЕТС исправленное количество осадков достигает 700 мм, увеличиваясь на отдельных возвышенностях и на водоразделе Северные Увалы до 800 мм против 600 мм измеренных.

В Прибалтике, на общем фоне 750—800 мм осадков за год, заметно их увеличение до 900 мм в устьях Немана и Преголя, а также на Видземской возвышенности, что на 100 мм превышает измеренные суммы. На побережье Рижского залива и севере Литвы отчетливо выявляется полоса уменьшения осадков — менее 700 мм, то же относится и к побережью Финского залива и Чудского озера.

На западных склонах Валдайской возвышенности (северная и центральная части) осадки достигают 900 мм, что на 200 мм превышает измеренные. Ранее такие суммы осадков получались лишь с привлечением косвенных данных, в частности о степени изрезанности рельефа и лесистости.

Изолиния 700 мм проходит по линии Брест—Гомель, отсекает юг Средне-Русской возвышенности (южнее Курска) и резко поворачивает на север (к Москве), далее она подходит к Уралу южнее Перми, а затем огибает Урал с юга. В этой области за счет поправок уровень осадков равномерно уменьшается от 700 до 500 мм (на карте измеренных осадков от 600 до 400 мм). В бассейне Волги, южнее Саратова, исправленное количество осадков изменяется от 500 до 300 мм, а измеренное от 400 до 200 мм. Таким образом, в центральной и южной частях ЕТС за счет поправок осадки увеличиваются в среднем на 100 мм. В дельте Волги количество осадков повышается на 55 мм, от 170 до 225 мм.

Следует отметить, что на исправленной карте изогипеты носят более закономерный характер. Сглажены мелкие особенности, которые на карте измеренных осадков выделялись, в основном, за счет влияния на учет осадков ветрового поля, обусловленного местными особенностями.

В Западной Сибири количество осадков также повысилось на 100 мм, вместо 400—500 мм стало 500—600 мм. Попутно отметим несколько неоправданное завышение осадков до 700 мм на большой площади на картах А. П. Бочкова [3] и Л. Р. Струзера [9, 13]. Судя по данным Справочника, 700 мм выпадает в очень узкой полосе.

В Казахстане и на равнинной части Средней Азии изменение количества осадков также колеблется в пределах 100 мм, но, что особенно существенно, совершенно исчезла большая область, где осадки были 100 мм и менее. Таким образом, на севере Казахстана годовое количество осадков достигает 400 мм, снижаясь к югу до 200 мм. По-видимому, такое количество осадков больше соответствует имеющейся здесь ландшафтной зональности.

Наиболее существенные отличия от измеренного количества осадков и от ранее опубликованных карт [3, 9] получились в бассейне Енисея. В горах Путорана исправленное количество осадков

достигает 1000 мм (в бассейне р. Котуй до 1200 мм). Вдоль всего правого берега Енисея (до 62° с. ш.) на отдельных массивах осадки также достигают 1000 мм. Таким образом, общая площадь с осадками выше 1000 мм довольно значительная. По измеренным данным в этом районе количество осадков не превышает 700 мм.

В восточной части Среднесибирского плоскогорья количество осадков снижается до 600 мм (по измеренным 500 мм), увеличиваясь на отдельных массивах до 800 мм.

На полуострове Таймыр по исправленным данным количество осадков на сравнительно большой площади достигает 600 мм (на отдельных ледниках до 750 мм), тогда как по измеренным величинам и по карте О. А. Дроздова [4] здесь проходит изогиета 350—400 мм.

Сравнительно мало (на 50—70 мм) изменилось количество осадков в Прибайкалье и Забайкалье. Однако на восточном горном побережье озера Байкал оно увеличивается более чем на 100 мм. На юге Байкала, в районе хребта Хамар-Дабан количество осадков после введения поправок увеличивается на 200 мм (1400 мм вместо 1200 мм).

На Верхоянском хребте после исправления норм осадков проходит изолиния 500, а на 68° с. ш.— 600 и 700 мм, что более чем на 100 мм превышает измеренные суммы, а также и значения, помещенные на карте исправленных годовых норм по долине р. Лены [3, 4, 9]. На остальной части Якутии изменения невелики (менее 50 мм).

На Тихоокеанском побережье количество осадков достигает 900 мм (по измеренным 800 мм).

На Южном Сахалине после введения поправок количество осадков увеличивается до 1000 мм (измеренное 800—900 мм). На северном Сахалине изменение превышает 150—200 мм (от 600 мм изменилось местами до 800 мм).

На северо-западе Камчатки исправленное количество осадков превышает измеренное на 100—150 мм, а на остальной территории 200—250 мм. На наветренном юго-восточном побережье появляется область, где количество осадков достигает 2000 мм (район ст. Ходутка) и значительно расширяется территория, где выпадает более 1600 мм осадков. Отметим, что карта осадков Камчатки, помещенная в работе [3], построена слишком схематично.

На Чукотке изменения достигают 100—150 мм.

Естественно обратить внимание лишь на те районы, где большую часть года преобладают твердые осадки и скорости ветра достаточно велики. К таким районам относятся и Северный Казахстан и отчасти Заволжье, в которых количество осадков увеличивается на 100 мм. По-видимому, для этих районов в работе [4] не вносилось косвенными способами существенных изменений измеренных осадков.

В начале статьи сказано, что для горных районов построены карты измеренных осадков в масштабе 1 : 3 500 000. Однако привести их в настоящей публикации по техническим причинам не

представляется возможным. Ограничимся лишь сравнением с ранее опубликованными картами, где для горных районов принимались во внимание сведения метеорологического характера, в частности сток рек. Следует также подчеркнуть, что мы не касаемся детально вопроса о плювиометрических градиентах в различных горных системах.

В горных районах Средней Азии, Алтая и Саян в основном нет существенных изменений по сравнению с ранее построенными картами [1]. Скорость ветра здесь небольшая, станции в основном распределены в долинах. Поэтому приборные поправки невелики, и они не внесли существенных изменений. По-прежнему при построении карт для недостаточно освещенной данными высокогорной зоны этого района приходится ориентироваться на плювиометрические градиенты, но построенные по исправленным значениям осадков. Проверка показала, что в учете стока рек этого района необходимости не возникало. В ряде мест рассматриваемого обширного горного района осадки оказались большими. Наибольшее их количество на Памиро-Алае приурочено к западным склонам ледниковой зоны — порядка 1600 мм. После введения поправок и проверки полученных значений по связи годовой суммы осадков на высоте снеговой линии ледников со средней летней температурой можно считать, что на высоте 4200 м (ледник Федченко) выпадает более 2000 мм осадков. Напомним, что выше 4900 м осадков выпадает меньше — порядка 1400—1600 мм.

На западе горного Крыма на высоте 700 м количество осадков увеличивается на 100 (Тюзлер — 947 мм) — 200 мм (Пендикюль — 1294 мм). На величину порядка 150 мм повышается количество осадков и на высоте 400 м (водопад Учан-Су — 1045 мм). На яйле в районе ст. Ай-Петри (1200 м), учитывая плювиометрический градиент, можно ожидать суммы осадков 1250 мм, т. е. несколько меньше, чем на высоте 800 м. В восточной, более засушливой, горной части Крыма суммы осадков меньше и в районе Караби-Яйла с учетом поправок следует ожидать до 800 мм осадков. Эта величина также рассчитана по плювиометрическому градиенту.

В Карпатах на высоте 1400—1500 м на наветренном юго-западном склоне выпадает 1700 мм, а на северо-западном 2000 мм. Такие же суммы и в районе ст. Пожижевская. Увеличилась площадь, где выпадает более 1000 мм. Эти значения согласуются с величинами осадков, приведенными М. И. Кирилук [6] по водосборам рек Закарпатья. От ранее опубликованных величин они отличаются на 200—300 мм.

На Кавказе, по данным О. Е. Меликишвили [7], который ввел все приборные поправки, для высокогорной зоны получены суммы осадков, близкие к тем, которые ранее определялись по стоку и гляциологическим измерениям. В Аджарии, которая всегда выделялась как наиболее влажная зона в СССР, после введения поправок на большой площади новой карты нормы осадков превышают 3000 мм (ранее было 2400 мм). В отдельных пунктах превышение достигает 200—250 мм (Батуми, Дагва, Сарпи). Следует

отметить рекордно большие годовые суммы осадков на ст. Цискара (1210 м) — 3900 мм по измеренным данным и 4520 мм по исправленным. В высокогорной зоне Большого Кавказа (4000 м) после введения поправок выявилась новая зона очень больших осадков, превышающих 3200 мм, близких к максимальным для всей территории СССР осадков (4000 мм). На остальной части Кавказа за счет введения поправок суммы осадков увеличились на 150—200 мм.

На Урале для проверки построенной карты использовались расчеты по уравнению связи водного и радиационного балансов. Так, сток с высокогорной части составляет 600 мм, радиационный баланс $27 \text{ ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{год})$. В этом районе, следовательно, можно ожидать, что осадки составляют величину порядка 1000 мм. Эта оценка подтверждается исправленными величинами осадков станций Полюдов Камень и Таганай, гора, а также близкими значениями осадков на ст. Верхний Шугор.

Из рассмотренного сравнения новой карты с опубликованными ранее следует, что на равнине в результате введения поправок все поле осадков повышается в основном на 100—200 мм. Это результат получен без привлечения косвенных способов уточнения карты. Особенно важно то обстоятельство, что на севере таежной зоны и в зоне тундры, где обычно при составлении карты ориентировались в основном на сведения о снегозапасах, новая карта построена целиком по данным осадкомерной сети. Для арктической зоны это удалось сделать вообще впервые. Ранее в этой зоне при построении карты осадков для холодного периода использовались исключительно данные снегосъемок, а показания осадкомеров в холодный период полностью игнорировались как совсем непригодные.

В ряде районов горной территории получены значения осадков, существенно превышающие прежние оценки, причем отпала необходимость в уточнении осадков по стоку.

В заключение отметим, что масштаб построенной карты достаточен для ее использования в общеклиматических целях оценки режима осадков, но не позволяет выявить ряд особенностей, связанных с влиянием подстилающей поверхности. Это — дело будущего.

Автор надеется в ближайшее время опубликовать результаты проверки построенной карты по замыканию водного баланса на всей территории СССР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Таджикской ССР. Душанбе — Москва, 1968, с. 69.
2. Брызгин Н. Н. Анализ закономерностей распределения атмосферных осадков в Арктике и методы учета ошибок их измерений. Автореф. канд. дисс. (ААНИИ). Л., 1972, с. 5—17.
3. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л., Гидрометеиздат, 1967, с. 11—12.

ка на смачивание Δx_c и испарение Δx_n , вычисляются «ложные» осадки x_m , попавшие в осадкомер во время метелей, а затем полученная алгебраическая сумма умножается на ветровой коэффициент K , учитывающий ветровую ошибку прибора

$$x = (x' + \Delta x_c + \Delta x_n - x_m)K. \quad (1)$$

Методика введения поправок разработана для данных, полученных при двух сроках наблюдений в сутки. Как указано выше, при четырех сроках наблюдений часть этих поправок должна измениться. Обозначим индексом «2» все величины формулы (1), относящиеся к методике с двумя сроками наблюдений, а индексом «4» — к методике с четырьмя сроками. Соответственно можно записать

$$x_2 = (x'_2 + \Delta x_{c,2} + \Delta x_{n,2} - x_{m,2})K_2, \quad (2)$$

$$x_4 = (x'_4 + \Delta x_{c,4} + \Delta x_{n,4} - x_{m,4})K_4. \quad (3)$$

Поскольку в настоящее время на станциях в данные текущих наблюдений вводится только одна поправка — на смачивание ($\Delta x_{c,4}$), то для расчета аномалий нужна норма величины $(x'_4 + \Delta x_{c,4})$. Найдем ее выражение через величину $(x'_2 + \Delta x_{c,2})$.

Если все поправки вычислены правильно, то результат исправления данных как при двух сроках наблюдений, так и при четырех должен быть близок к истинным осадкам x . Иначе говоря, можем считать, что

$$x_4 = x_2 = x. \quad (4)$$

Приравнявая (3) к (4), получаем

$$[(x'_4 + \Delta x_{c,4}) + \Delta x_{n,4} - x_{m,4}]K_4 = [(x'_2 + \Delta x_{c,2}) + \Delta x_{n,2} - x_{m,2}]K_2. \quad (5)$$

Из физической сущности явлений очевидно, что от изменения числа сроков наблюдений не зависит величина ветрового коэффициента K и количество ложных осадков x_m . Поэтому можем написать:

$$\left. \begin{aligned} x_{m,4} &= x_{m,2} \\ K_4 &= K_2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Учитывая (6) и разрешая (5) относительно $(x'_4 + \Delta x_{c,4})$, получаем

$$(x'_4 + \Delta x_{c,4}) = (x'_2 + \Delta x_{c,2}) + (\Delta x_{n,2} - \Delta x_{n,4}). \quad (7)$$

Изолинии аномалий проводятся обычно через 20%. Это значит, что допускается отклонение от средней линии в пределах до 10% и уж во всяком случае приемлема ошибка в вычислении аномалий до 5%. Если принять этот критерий, то следует считать допустимой ошибку нормы осадков 5%. Необходимо оценить, превышает ли эту величину относительная ошибка, если норму $(x_4 + \Delta x_{c,4})$ заменить имеющейся в Справочнике нормой $(x_2 + \Delta x_{c,2})$. Для этого разделим левую и правую части уравнения (7) на $(x_2 + \Delta x_{c,2})$:

$$\frac{x_4 + \Delta x_{c,4}}{x_2 + \Delta x_{c,2}} = 1 + \frac{\Delta x_{и,2} - \Delta x_{и,4}}{x_2 + \Delta x_{c,2}}. \quad (8)$$

Относительная ошибка δ определяется вторым слагаемым правой части последнего уравнения. Знаменатель этого слагаемого можно получить из данных Справочника, где отдельно указаны как x_2 , так и $\Delta x_{c,2}$. Числитель же представляет собой изменение потерь на испарение, вызванное переходом от измерений два раза в сутки к измерениям четыре раза в сутки. Оценим это изменение.

Промежуток времени между сроками наблюдений ранее равнялся 12 ч. Считая выпадение осадков равновероятным для любого времени внутри этого промежутка, т. е. пренебрегая в первом приближении суточным ходом осадков, вычисляем средние потери на испарение, приходящиеся на один срок с осадками, посредством умножения интенсивности испарения w (в мм/ч) на половину этого промежутка, т. е. на среднее время экспозиции при двух сроках наблюдений $\tau_2 = 6$ ч. Для получения средней месячной поправки на испарение при двух сроках наблюдений $\Delta x_{и,2}$ остается умножить это произведение на среднее многолетнее число сроков с осадками M_2 . Таким образом,

$$\Delta x_{и,2} = w \tau_2 M_2. \quad (9)$$

Совершенно аналогично поправка на испарение $\Delta x_{и,4}$ при четырех сроках наблюдений в сутки выразится соотношением

$$\Delta x_{и,4} = w \tau_4 M_4. \quad (10)$$

Интенсивность испарения w не зависит от изменения числа сроков наблюдений в сутки. Продолжительность экспозиции τ_4 из соображений, аналогичных приведенным выше, также равна половине промежутка времени между сроками наблюдений, т. е. $\tau_4 = 3$ ч. Следовательно, при переходе к четырем срокам наблюдений в сутки поправка $\Delta x_{и,4}$ из-за уменьшения τ должна уменьшиться вдвое. Однако число сроков с осадками в месяц M при этом увеличивается. Разделив (10) на (9), получим

$$\frac{\Delta x_{и,4}}{\Delta x_{и,2}} = \frac{\tau_4}{\tau_2} \frac{M_4}{M_2}.$$

Принимая $\frac{\tau_4}{\tau_2} = \frac{1}{2}$ и обозначая $\frac{M_4}{M_2} = A$, можем написать

$$\Delta x_{и, 4} = \Delta x_{и, 2} \frac{A}{2}. \quad (11)$$

Интересующая нас разность $(\Delta x_{и, 2} - \Delta x_{и, 4})$ выразится через $\Delta x_{и, 2}$ и A в виде

$$(\Delta x_{и, 2} - \Delta x_{и, 4}) = \Delta x_{и, 2} \left(1 - \frac{A}{2}\right). \quad (12)$$

Соответственно ошибку нормы, равную второму слагаемому правой части выражения (8), можем записать в виде

$$\delta = \frac{\Delta x_{и, 2}}{x_2 + \Delta x_{с, 2}} \left(1 - \frac{A}{2}\right) \quad (13)$$

или в виде

$$\delta = \frac{\Delta x_{и, 2}}{x_2} \frac{1 - \frac{A}{2}}{1 + \frac{\Delta x_{с, 2}}{x_2}}. \quad (14)$$

Множитель $\Delta x_{и, 2}/x_2$ представляет собой потери на испарения, выраженные в долях нормы осадков x_2 , полученной по непосредственно измеренным их величинам при двух сроках измерения в сутки. Месячные карты этой величины составлены И. Н. Нечаевым. На большей части территории СССР она меняется в пределах от 0,02 до 0,08, но в переходные месяцы года достигает в некоторых районах особенно больших значений — порядка 0,15—0,20. Ошибка δ меньше этой величины. Уменьшение определяется коэффициентом

$$B = \frac{1 - \frac{A}{2}}{1 + \frac{\Delta x_{с, 2}}{x_2}}. \quad (15)$$

Знаменатель этого выражения можно найти по данным Справочника или по составленным И. Н. Нечаевым картам потерь на смачивания $\Delta x_{с, 2}/x_2$, выраженных в процентах от x_2 . Он меняется в пределах от 1,04 до 1,25. Числитель выражения (15) требует специальной оценки.

Легко сообразить, что пределом для A является значение «2», которое достигается только в том случае, если при переходе к че-

тырем срокам наблюдений в каждом случае, когда при двух сроках наблюдались осадки, эти осадки отмечались бы два раза. Иначе говоря, необходимо, чтобы в каждый 12-часовой промежуток времени с осадками они выпадали как в первые шесть часов, так и во вторую половину этого промежутка, и притом, поскольку речь идет о многолетнем среднем значении A , такой режим должен быть устойчивым во все годы. Ясно, что вероятность близких к «2» значений A тем больше, чем больше число сроков с осадками в данном месяце. По-видимому, A может достичь значения «2» лишь при M_2 порядка 50—60 в месяц, т. е. почти при непрерывных дождях или снегопадах в течение всего месяца. Подобный режим осадков в СССР почти нигде не наблюдается.

С другой стороны, A не может быть меньше 1, так как $A=1$ означает, что $M_4=M_2$, т. е. несмотря на увеличение числа сроков наблюдений в сутки, количество случаев измерения осадков за месяц не изменилось. Для этого необходимо, чтобы суточный ход осадков был резко асимметричным, чтобы осадки выпадали всегда или в первую, или во вторую половину дня или ночи. Столь резко выраженный и притом постоянный суточный ход осадков на территории СССР почти нигде не наблюдается. Следовательно, при больших значениях M_2 величина A должна быть существенно больше 1. Иное дело, когда осадки выпадают редко. Обычно они при этом и кратковременны. В пределе, если $M_2=0$, то и $M_4=0$, т. е. осадков нет в течение всего месяца. Если $M_2=1$, то почти наверняка и $M_4=1$, т. е. в течение месяца выпадает в среднем лишь один дождь. Его продолжительность почти наверняка меньше 6 ч и $A=1$. С увеличением M_2 величина A должна увеличиваться сначала быстро, а затем все медленнее, приближаясь к 2.

Полученный вывод о виде зависимости A от M_2 подтверждается некоторыми экспериментальными данными. В течение 1966—1968 гг. на девяти станциях — Ола (Колыма), Астраханка (Дальний Восток), Омск, Поти (Грузия), Нижнедевицк (Воронежская обл.), Дубовка (Ростовская обл.), Молдавская стоковая станция, Воейково (Ленинградская обл.) и Ленинград, город — были организованы одновременные измерения осадков двумя осадкомерами: по одному из них четыре раза в сутки, а по другому два раза. На рис. 1 представлен график связи между M_4 и M_2 , содержащий в общей сложности 234 точки. Предварительно на рабочем экземпляре графика удалось убедиться в том, что точки разных станций размещены случайно. Зональные особенности в поле точек не обнаруживаются. Поэтому среднюю кривую, проведенную по всей совокупности точек, можно в первом приближении считать применимой повсеместно. На графике пунктирными кривыми отмечена область доверительного интервала обеспеченности около 0,7. Ширина этой области несколько увеличивается с увеличением M_2 . Снимая со средней кривой значения $A=M_4/M_2$, получаем кривую зависимости A от M_2 , изображенную на рис. 2. Пунктирными кривыми отмечена область доверительного интервала. Она получена по пунктирным кривым рис. 1.

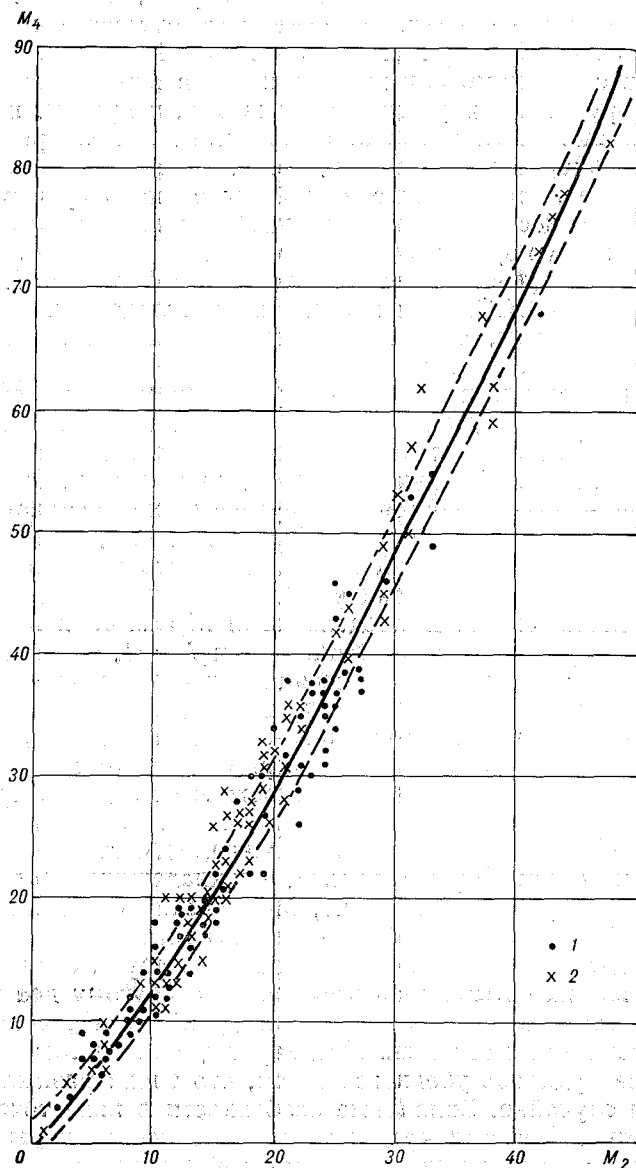


Рис. 1. Связь между средними многолетними значениями количества сроков с осадками в месяц при четырех (M_4) и двух (M_2) сроках наблюдений за осадками в сутки.

1 — месяцы с жидкими осадками, 2 — месяцы с твердыми и смешанными осадками.

Ход средней кривой близок к ожидавшемуся: A близко к 1 при очень малом числе сроков с осадками (порядка 2—3 в месяц), быстро возрастает при увеличении M_2 до 10 в месяц и продолжает возрастать, но медленнее с дальнейшим увеличением M_2 , достигая значений 1,8—1,9 при $M_2=40-50$, т. е. лишь при предельно больших M_2 . Основная же масса эмпирических точек, как показывает рис. 1, приходится на область M_2 от 5 до 35 (значения A от 1,2 до 1,7). Ошибка значений A очень большая при $M_2 < 10$, сводится при больших M_2 к $\pm 0,2 \div \pm 0,1$.

Для получения интересных нас оценок примем с запасом, что $A=1,45 \pm 0,25$. Примем, следовательно, что $(1-A/2)=0,28 \pm \pm 0,12$ и оценим по формуле (14) относительную ошибку норм δ .

Расчеты сделаны для шести районов (табл. 1). Величины $\Delta x_{н,2}/x_2$ и $\Delta x_{с,2}/x_2$ снимались с месячных карт И. Н. Нечаева. Поскольку потери на испарение максимальны в весенние месяцы, расчеты ограничены четырьмя месяцами с февраля по май. В

остальные месяцы $\Delta x_{н,2}/x_2$ и относительная ошибка δ еще меньше. На ЕТС ошибка δ мала, она возрастает с юга на север в самый неблагоприятный месяц (апрель) от 0,8 до 3,3%. Районы, выбранные на АТС, отличаются особенно большими потерей на испарение. Несмотря на это δ и здесь меньше 5%, хотя заметно

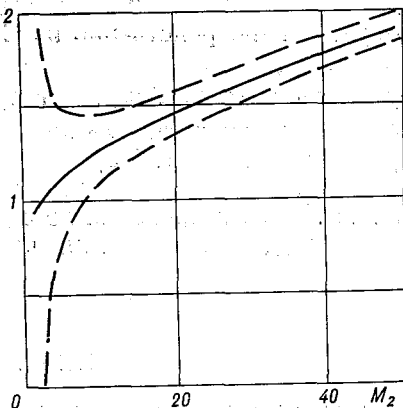


Рис. 2. Зависимость величины $A = M_4/M_2$ от числа сроков с осадками в месяц (M_2) при двух сроках наблюдений в сутки.

Таблица 1

Относительная ошибка δ месячных норм осадков при переходе к четырем срокам наблюдений в сутки (в % от нормы $(x_2' + \Delta x_{с, 2})$, полученной при двух сроках наблюдений)

Район	$\Delta x_{н,2}/x_2'$				$\Delta x_{с,2}/x_2'$				$\delta\%$			
	II	III	IV	V	II	III	IV	V	II	III	IV	V
Север ЕТС	4	8	13	12	20	20	10	15	0,9	1,8	3,3	2,9
Центр ЕТС	3	6	6	3	10	10	8	8	0,8	1,5	1,6	0,8
Юг ЕТС	4	8	3	3	8	11	10	6	1,0	2,0	0,8	0,8
Северный Казахстан	7	10	12	9	20	16	14	10	1,6	2,4	3,0	2,3
Барабинская низменность	8	10	18	10	24	22	17	14	2,2	2,3	4,0	2,5
Северный Алтай	4	8	12	10	10	22	10	14	1,0	1,8	3,1	2,5

больше, чем на ЕТС. Ошибка остается меньше 5% даже на восточном побережье Камчатки, где $\Delta x_{н,2}/x_2$ чрезвычайно велика.

Таким образом, для расчета текущих месячных и тем более сезонных и годовых аномалий осадков можно пользоваться значениями норм осадков ($x_2 + \Delta x_{с,2}$), полученными при двух сроках наблюдений за осадками. Эти нормы могут оказаться преуменьшенными, но не более, чем на 5%, а в большинстве случаев на 1—2%. При вычислении месячных аномалий норму осадков можно получить непосредственно из Справочника по климату СССР, прибавляя к измеренной норме x_2 (из табл. 1 Справочника) поправку на смачивание $\Delta x_{с,2}$, которую можно вычислить умножением найденного значения x_2 на коэффициент K_3 (см. Справочник, прил. к таблицам 1, 1 а).

Для годовых аномалий лучше учесть возможность преуменьшения нормы в пределах до 5%, для этого увеличить годовую норму на 2%, считая затем, что точность такой нормы $\pm 2\%$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания к четвертой части Справочника по климату СССР, разд. 2. Атмосферные осадки. Введение поправок на недоучет осадков осадкомером. Л., 1966. 18 с. Отпеч. на множит. аппарате.
2. Справочник по климату СССР. Ч. 4. Влажность воздуха, атмосферные осадки и снежный покров. Вып. 1—34. Л., Гидрометеиздат, 1967—1970.
3. Швер Ц. А. Исследование результатов наблюдений по дождемеру и осадкомеру. Л., Гидрометеиздат, 1965. 170 с.

О СВЯЗИ ИНТЕНСИВНОСТИ ЖИДКИХ ОСАДКОВ С ТЕМПЕРАТУРОЙ И ВЛАЖНОСТЬЮ ВОЗДУХА

При учете погрешностей измерения жидких осадков современными осадкомерами необходимо принимать во внимание структуру выпадающих дождей, так как малоинтенсивные мелкокапельные дожди хуже учитываются осадкомерами из-за сильного искажающего влияния ветра [1]. Существующие в настоящее время способы учета ветровой погрешности осадкомеров при измерении жидких осадков требуют знания параметра структуры жидких осадков N , представляющего собой долю малоинтенсивных мелкокапельных осадков в общей их сумме [1, 5]. Эта величина может быть легко получена по записям плювиографа за период любой длительности. Однако плювиографы существуют лишь на ограниченной сети осадкомерных пунктов. Для того чтобы иметь возможность ввести поправки в показания осадкомеров на станциях, где нет плювиографов, был разработан способ определения параметра N по связи его с месячной интенсивностью осадков I (в мм/ч), получаемой как отношение месячной суммы осадков x (в мм) к их продолжительности τ (в ч) за тот же месяц

$$I = \frac{x}{\tau}.$$

В работе [2] приводится формула, описывающая эту связь

$$N = 45 - 75 \lg I. \quad (1)$$

При определении параметра N для исправления средних многолетних месячных сумм (норм) осадков необходимо обратиться к месячным картам средних многолетних значений параметра N для всей территории СССР [7].

Таким образом, если дело касается лишь территории Советского Союза, то параметр N может быть определен либо по данным плювиографа, либо по связи со значением I (для конкретных месячных сумм осадков), либо по соответствующим картам параметра N (для норм осадков).

В последние годы в связи с обострившейся необходимостью точного учета водных ресурсов во всем мире происходит уточнение данных по элементам водного баланса земного шара. В частности, в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (ГГО) при построении мировых уточненных карт средних многолетних месячных и годовых сумм осадков возникла потребность ввести необходимые поправки в данные осадкомеров самых раз-

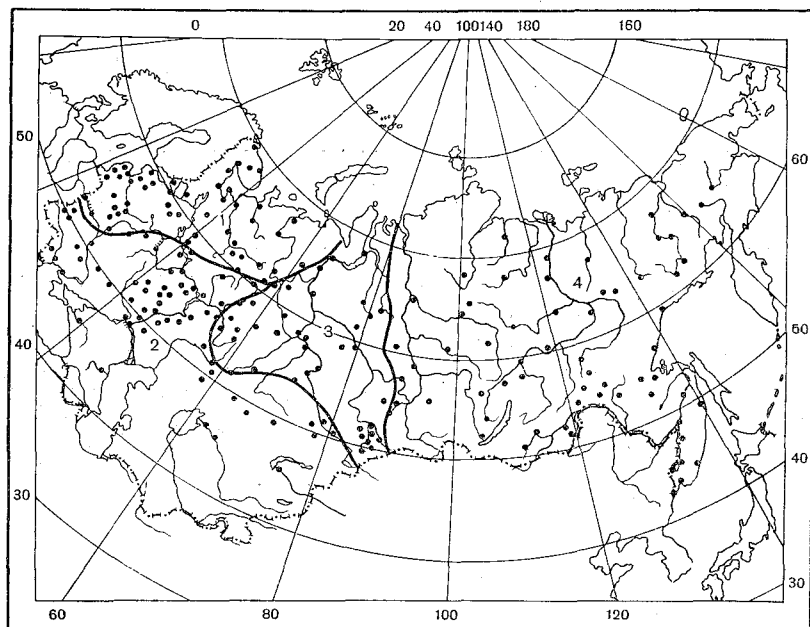


Рис. 1. Карта расположения осадкомерных пунктов, данные которых использованы в расчетах.

1—4 — районы, для которых построены графики рис. 2 и 3.

нообразных конструкций, применяющихся в различных странах, имея в распоряжении, главным образом, лишь сведения о суммах осадков, температуре и влажности воздуха, атмосферном давлении и в меньшем количестве — о скорости ветра. Данные о продолжительности и интенсивности осадков практически отсутствуют. Поэтому была сделана попытка получить связь между средними многолетними месячными значениями параметра $\bar{N}$ и средними многолетними значениями температуры воздуха $\bar{t}$ за те же месяцы. В качестве исходных материалов были использованы данные 240 станций, расположенных в разных климатических условиях на территории Советского Союза (рис. 1). Средние многолетние месячные значения $\bar{N}$ для 60 из этих станций получены по данным pluвиографов (осреднение проводилось за период 8—10 лет), а для остальных 180 станций сняты с упомянутых месячных карт

параметра $\bar{N}$. Точность определения величины $\bar{N}$ в обоих случаях примерно одинакова и составляет в среднем $\pm (4-6) \%$. Средние многолетние месячные значения температуры воздуха t взяты из Справочника по климату СССР [4].

При построении графиков связи между величинами $\bar{N}$ и t было обнаружено, что эта связь получается достаточно тесной, но несколько различной в разных климатических условиях. На рис. 2 приведена группа кривых зависимости $\bar{N}$ от t ; каждая кривая характеризует определенный географический район, в пределах которого эта зависимость имеет лишь случайный разброс. Границы этих районов обозначены на карте рис. 1. Величины средних квадратических отклонений

частных значений $\bar{N}$ от линии связи показаны в табл. 1. Систематические различия между кривыми соизмеримы со значениями $\sigma_{\bar{N}}$. Таким образом, использование полученных связей внутри каждого из соответствующих районов сопряжено лишь со случайной ошибкой, определяемой величиной $\sigma_{\bar{N}}$. Если же получить среднюю линию связи по всему полю точек, общему для всей территории СССР, то при определении по ней величины $\bar{N}$ будет получаться заметная дополнительная систематическая погрешность.

Что касается территории СССР, то о размерах этой погрешности можно судить по величине расхождения кривых на рис. 2. Но если попытаться использовать такую

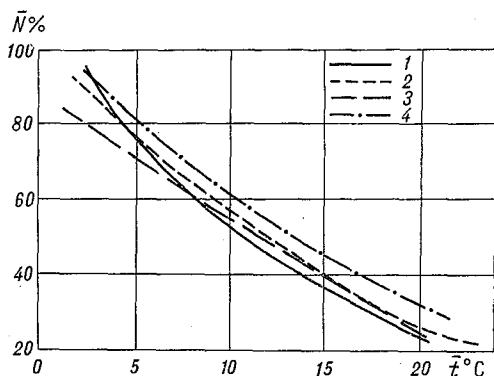


Рис. 2. Связь величин $\bar{N}$ и t для географических районов 1—4 территории СССР (см. рис. 1).

Таблица 1

Средние квадратические отклонения частных значений параметра $\bar{N}$ от линии связи $\bar{N}$ со средней температурой воздуха t в разных географических районах

Район	1	2	3	4
$\sigma_{\bar{N}} \%$	9	8	6	9

среднюю зависимость для зарубежных территорий, то можно лишь по аналогии предполагать, какова будет величина погрешности в разных условиях.

Разумеется, было бы значительно удобнее получить однознач-

ную, нерегиональную связь величины $\bar{N}$ с каким-либо комплексом метеорологических характеристик, о которых имеются достаточно обширные и надежные данные. Очевидно, руководствуясь общефизическими представлениями, можно предположить, что при одной и той же температуре воздуха следует ожидать больших значений интенсивности осадков там, где больше абсолютная влажность воздуха. По-видимому, именно этот элемент служит одним из фак-

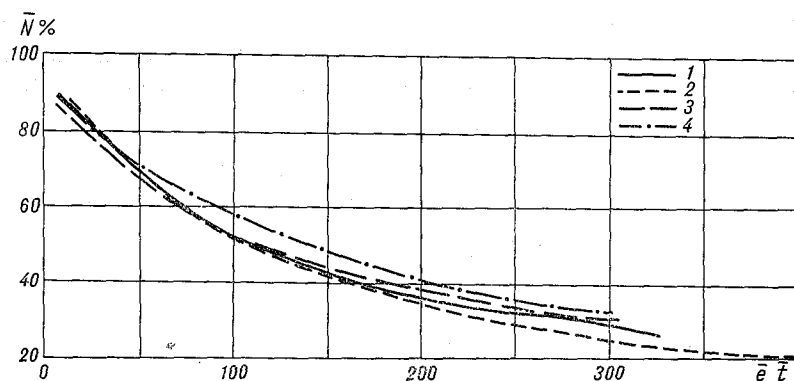


Рис. 3. Связь величин $\bar{N}$ и $\bar{e}t$ для географических районов 1—4 территории СССР (см. рис. 1).

торов, из-за которых возникают региональные различия связи $\bar{N}$ с t . Поэтому была предпринята попытка связать те же значения $\bar{N}$ с произведением величин средней многолетней месячной темпе-

Таблица 2

Средние квадратические отклонения частных значений параметра $\bar{N}$ от линии связи его с произведением $\bar{e}t$ в разных географических районах

Район	1	2	3	4
$\sigma_{\bar{N}} \%$	7	9	8	8

ратуры воздуха $\bar{t}$ и средней многолетней абсолютной влажности воздуха $\bar{e}$. Полученные графики связи представлены на рис. 3. Так же, как и на рис. 2, здесь показана связь между величиной $\bar{N}$ и произведением $\bar{e}t$ для отдельных районов. В табл. 2 даны значения $\sigma_{\bar{N}}$ для линий связи каждого из районов. Учитывая величину $\sigma_{\bar{N}}$ для кривых рис. 3, можно считать, что систематические региональные различия практически отсутствуют и связь величин $\bar{N}$ и $\bar{e}t$ применима для всех климатических условий, по крайней мере, в том диапазоне их изменений, который есть в Советском Союзе.

Поскольку этот диапазон достаточно широк — от полярной тундры до субтропиков — вопрос об определении среднего многолетнего значения $\bar{N}$ можно считать решенным практически для всех климатов земного шара. Правда, можно ожидать отклонений от найденной зависимости в условиях экваториального климата, но при характерных для него интенсивных ливневых дождях величина N всегда и наверняка не превышает 10—15%, что соответствует весьма малой величине ветровой погрешности измерения осадков (в пределах 1—1,5%) для осадкомеров любой из известных конструкций [1, 3, 6]. Таким образом, с помощью графика рис. 3 можно получать средние многолетние месячные значения параметра $\bar{N}$ с точностью $\pm (7-9)\%$ для любого пункта, располагая лишь сведениями о средних многолетних месячных величинах температуры и влажности воздуха для данного пункта. Полученная зависимость использована в ГГО для расчета ветровой погрешности измерения жидких осадков на всех континентах при построении уточненных мировых карт осадков.

Важное следствие из описанной зависимости можно получить, если учесть упомянутую выше связь параметра N и средней интенсивности осадков. Вычислив по формуле (1) значения I , соответствующие величине параметра N , получим линейную зависимость. Она описывается выражением

$$I = 0,38 + 0,00425 et, \quad (2)$$

где I — в мм/ч, e — в мб и t — в °С.

Точность определения средней многолетней месячной величины I по этой формуле составляет $\pm (0,15-0,20)$ мм/ч. Эта точность сильно ухудшается для больших значений I (более 2 мм/ч), так как при интенсивных ливневых дождях величина N меняется очень слабо и от интенсивности практически не зависит. Очевидно, зависимость I от произведения et в области высоких температуры и большой влажности может отклониться от линейной и принять иную форму. При необходимости этот вопрос может быть исследован на материале измерения осадков в условиях тропического и экваториального климатов.

Что же касается климатических условий умеренных широт, то формула (2) позволяет определять среднюю многолетнюю месячную величину интенсивности жидких осадков с точностью, приемлемой для многих практических целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданова Э. Г. Исследование ветровой погрешности измерения осадков. — «Тр. ГГО», 1966, вып. 195, с. 40—62.
2. Богданова Э. Г. О возможности учета ветровой погрешности в текущих наблюдениях над жидкими осадками. — «Тр. ГГО», 1970, вып. 260, с. 3—23.
3. Горбунова И. Г. О погрешностях измерения осадков осадкомерами Гельмана. — «Тр. ГГО», 1972, вып. 280, с. 102—114.

4. Справочник по климату СССР. Ч. 2. Вып. 1—34. Л., Гидрометеиздат, 1965—1966.

5. Струзер Л. Р., Нечаев И. Н., Богданова Э. Г. Систематические погрешности измерения атмосферных осадков.—«Метеорология и гидрология», 1965, № 10, с. 50—54.

6. Струзер Л. Р., Голубев В. С., Горбунова И. Г. Предварительные результаты сравнений осадкомеров.—«Метеорология и гидрология», 1966, № 11, с. 53—57.

7. Указания для Управления гидрометеорологической службы по вычислению поправок к измеренным величинам атмосферных осадков. Л., Гидрометеиздат, 1969, 54 с.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СУММ ОСАДКОВ, ПРОХОДЯЩИХ ЧЕРЕЗ ВЕРТИКАЛЬНОЕ СЕЧЕНИЕ

Для удовлетворения требований современного строительства необходимо уметь учитывать осадки, выпадающие на вертикальные поверхности. Интенсивное увлажнение стен жилых домов и любых других ограждающих конструкций действует на них разрушительно и сильно ухудшает условия их использования. Поэтому в последнее время прилагаются значительные усилия для отыскания способа измерения количества осадков, выпадающих на вертикальные поверхности. Предпринята попытка (на наш взгляд, не вполне удачная) сконструировать соответствующий прибор [6, 8] и на основе его данных построить карту средних многолетних сезонных сумм осадков, выпадающих на вертикальные поверхности в районах Дальнего Востока, Приморья и северо-восточного побережья СССР [9]. При построении карты было использовано соотношение между месячными суммами осадков, выпадающих на горизонтальную и вертикальную поверхности. Это соотношение имеет вид:

$$h = 0,27Hu, \quad (1)$$

где h — месячная сумма осадков, выпавших на вертикальную поверхность (в мм); H — то же, на горизонтальную поверхность; u — средняя месячная скорость ветра (в м/с).

Эту же связь применила Ц. А. Швер [10] для расчета количества осадков, выпадающих на вертикальные поверхности на Европейской территории Союза.

Сразу же заметим, что выражение «осадки, выпадающие на вертикальную поверхность» нельзя признать вполне правильным в том смысле, в каком оно употребляется в упомянутых работах. Количество осадков, выпадающих на вертикальную стену какого-либо здания или иного сооружения, определяется не только скоростью ветра и суммой выпавших осадков, но также и аэродинамическими особенностями этого сооружения. От них, так же как и от вертикального профиля ветра, зависит и распределение осад-

ков по этой стене, которое может быть весьма неоднородным. Иными словами, формула (1) выражает соотношение между величинами h и H , характерное лишь для конфигурации того прибора, по данным которого оно получено. И отнюдь не очевидно, что эта формула должна соблюдаться по отношению к любой вертикальной поверхности.

Правильнее говорить о количестве осадков, проходящих через вертикальное сечение в ненарушенном ветровом потоке. Это количество, действительно, является функцией скорости ветра и количества осадков, выпадающих на горизонтальную поверхность. Очевидно, что

$$h = H \operatorname{ctg} \alpha, \quad (2)$$

где α — угол наклона траекторий капель дождя к горизонту. Величина α как раз и определяется скоростью ветра, а также еще и средней скоростью равновесного падения капель дождя:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\bar{v}_p}{u}, \quad (3)$$

где u — скорость ветра, $\bar{v}_p$ — средняя скорость равновесного падения капель дождя. Учитывая (3), формулу (2) можно переписать в виде такого простого соотношения:

$$h = H \frac{u}{\bar{v}_p}. \quad (4)$$

Таким образом, для определения величины h необходимо кроме суммы осадков H , выпадающих на горизонтальную поверхность, и скорости ветра при дожде знать еще и скорость равновесного падения капель дождя.

Как известно, любой дождь состоит из капель разных размеров с разной скоростью падения. Поэтому важно получить осредненную характеристику скорости равновесного падения капель, исходя именно из количества воды, приносимой каплями всех размеров.

Спектры размеров капель дождей изучали многие авторы, большинство из которых, обобщая обширный экспериментальный материал, приводят эмпирические формулы для описания распределения капель по размерам, связывающие различные характеристики спектров с интенсивностью дождей. Наиболее распространенными являются функции Маршалла — Пальмера, Беста, Литвинова [5, 11, 12]. По данным Маршалла — Пальмера, капли воды в дожде распределяются по размерам так, что имеет место соотношение

$$N_d = N_0 e^{-ad}, \quad (5)$$

где N_d — число капель диаметра d в единице объема воздуха (так

называемая плотность распределения капель диаметра d); $N_0 = 0,08 \text{ см}^{-4}$ (постоянная); $a = 41 I^{-0,21} \text{ см}^{-1}$ (I — интенсивность дождя в мм/ч).

Интенсивность дождей — параметр, повсеместно измеряемый и легко вычисляемый, поэтому спектры дождей получить достаточно просто.

Зная число капель заданных диаметров в единице объема воздуха, легко получить общую массу воды в этом объеме — так называемую водность дождя W :

$$W = \frac{4}{3} \pi \rho \int_0^{r_{\max}} N_d r^3 dr, \quad (6)$$

где r — радиус капли, $r_{\max}$ — максимально возможный радиус капель; ρ — плотность воды.

Тогда количество воды, проходящее в любой определенный отрезок времени (например, за отдельный дождь) через горизонтальное сечение, выразится формулой

$$H = \frac{4}{3} \pi \rho \int_0^{r_{\max}} N_d r^3 v_p dr \quad (7)$$

(v_p — скорость равновесного падения капли данного размера), а через вертикальное сечение формулой

$$h = \frac{4}{3} \pi \rho u \int_0^{r_{\max}} N_d r^3 dr \quad (8)$$

(величину u можно вынести за знак интеграла без существенной ошибки).

Таким образом, получаем выражение для соотношения величин H и h :

$$h = Hu \frac{\int_0^{r_{\max}} N_d r^3 dr}{\int_0^{r_{\max}} N_d r^3 v_p dr}, \quad (9)$$

а выражение для средней скорости равновесного падения капель дождя данной интенсивности имеет вид:

$$\bar{v}_p = \frac{\int_0^{r_{\max}} N_d r^3 v_p dr}{\int_0^{r_{\max}} N_d r^3 dr}. \quad (10)$$

По формуле (10) графическим способом был произведен расчет величины $\bar{v}_p$ и построена зависимость $\bar{v}_p$ от интенсивности дождя I (рис. 1). С помощью этого графика расчет искомой величины h сводится к элементарным арифметическим действиям.

Нужно отметить, что формула (5) получена путем осреднения результатов наблюдений над очень большим числом дождей. Можно попытаться применить вытекающую из нее формулу (9) для расчета, например, месячного значения $h_{\text{мес}}$, получив месячную интенсивность осадков $I_{\text{мес}}$ как

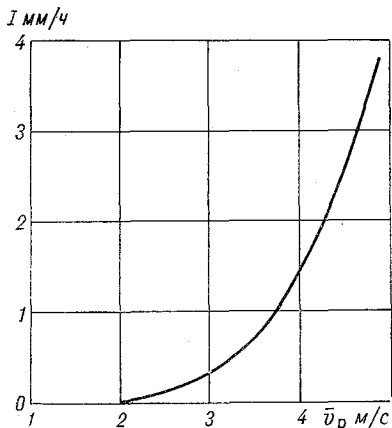


Рис. 1. Зависимость средней скорости равновесного падения капли дождя от его интенсивности.

частное от деления месячной суммы осадков $H_{\text{мес}}$ на их продолжительность $t_{\text{мес}}$ в течение того же месяца, а затем по графику рис. 1 определив величину $\bar{v}_p$ для этой месячной интенсивности. Поскольку в формуле Маршалла—Пальмера фигурирует интенсивность уже осредненная за весь дождь, то, по-видимому, нет физических оснований предполагать, что применение этой зависимости ко всем дождям месяца с общей интенсивностью $I_{\text{мес}}$ должно быть связано с какими-нибудь систематическими ошибками. Однако проверка этого обстоятельства все-таки была предпринята. Для этого были рассчитаны месячные суммы

осадков, проходящих через вертикальное сечение, по станциям Нижнедевицк (Воронежская обл.), Потти (район Батуми), Астраханка (Приморье) и Молдавская стоковая станция. Расчет производился двумя путями: 1) вычислялись величины h_i за каждый отдельный дождь и затем складывались за весь месяц ($\sum_1^n h_i$)

и 2) вычислялись величины $h_{\text{мес}}$ с учетом значения $I_{\text{мес}}$ за тот же месяц, рассчитанного, как описано выше. В табл. 1 и на рис. 2 приведены результаты расчетов. График связи величин $h_{\text{мес}}$ и $\sum_1^n h_i$ для всех станций наглядно доказывает отсутствие система-

тической разницы между этими величинами при разных способах их расчета.

Итак, для расчета сумм осадков, проходящих через вертикальное сечение, необходимы сведения о количестве осадков, выпадающих на горизонтальную поверхность H , о скорости ветра во время осадков u и об интенсивности осадков I .

Количество осадков, выпадающих на горизонтальную поверх-

Таблица I

Месячные суммы жидких осадков, проходящих через вертикальное сечение, рассчитанные с учетом интенсивности отдельных дождей ($\sum_1^n h_i$) и по средней месячной интенсивности ($h_{\text{мес}}$)

Станция, год	$h_{\text{мес}}$							$\sum_1^n h_i$									
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X			
Молдавская стоковая станция																	
1964	43,6	27,0	36,9	70,2	24,0	57,0	32,3	41,5	26,5	35,3	68,3	21,5	56,5	33,2			
1965	57,2	37,0	33,0	35,3	7,2	40,6	—	58,2	35,1	34,2	36,1	8,8	39,1	—			
Нижнедевиц																	
1965	—	29,5	54,4	31,4	62,9	63,8	—	—	26,2	53,7	30,4	66,9	65,0	—			
Поти																	
1967	—	45,3	94,5	100,0	125,2	57,5	—	—	44,2	90,6	94,1	124,0	57,9	—			
1968	—	18,2	14,4	24,6	79,2	179,2	—	—	15,0	11,4	24,8	80,3	186,3	—			
Астраханка																	
1965	—	70,6	33,2	65,2	150,0	52,7	29,0	—	73,0	36,3	62,8	153,5	51,8	30,7			
1966	—	43,0	13,0	—	—	—	—	—	41,2	12,8	—	—	—	—			
1967	—	15,3	37,8	18,7	17,5	—	—	—	18,1	35,6	18,7	17,3	—	—			

ность, измеряется на всей сети гидрометеорологических станций и постов, и сведения об осадках за любые периоды могут быть получены из справочной литературы. В частности, средние многолетние месячные суммы осадков приводятся в Справочнике по климату СССР (ч. IV, табл. 1 и 1а) [7].

Вопрос о скорости ветра во время осадков неоднократно рассматривался в литературе. Достаточно хорошо известно, что скорость ветра во время осадков, как правило, несколько больше, чем средняя скорость, рассчитанная по всем срокам измерения ветра. Данные, приведенные в работах [1, 3], позволяют сделать вывод о том, что в среднем на Европейской территории СССР в период

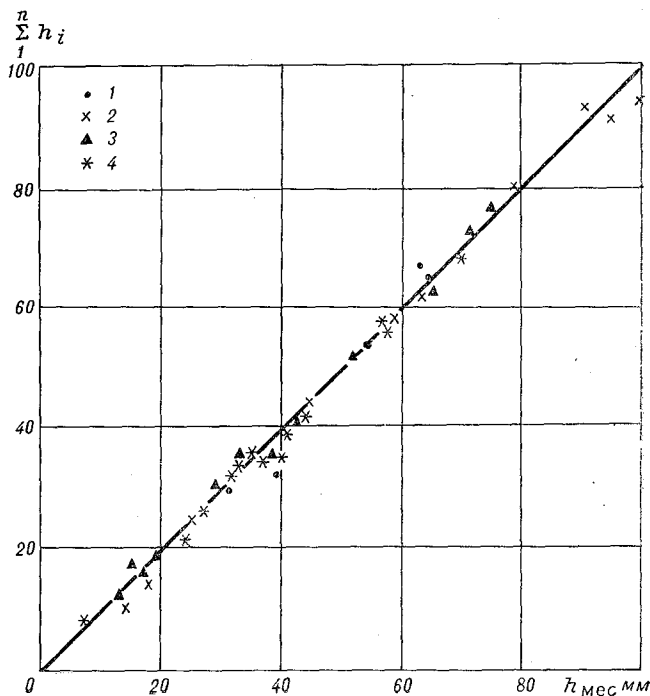


Рис. 2. График связи величин $h_{\text{мес}}$ и $\sum_1^n h_i$ для периода с жидкими осадками.
1 — Нижнедевицк, 2 — Потти, 3 — Астраханка, 4 — Молдавская стоковая станция.

с жидкими осадками скорость ветра во время осадков на 10—15% больше, чем ее средняя величина. Это обстоятельство нужно иметь в виду, пользуясь для расчета величины u сведениями о средних скоростях ветра, помещенными в Справочнике по климату СССР, ч. III. В работе [1] описан способ расчета скорости ветра во время осадков, позволяющий получать искомую величину, пользуясь лишь данными справочной литературы о средней месячной скорости ветра и числе дней с осадками за месяц.

Что же касается сведений об интенсивности, то данные для ее расчета могут быть целиком получены из Справочника по климату СССР, ч. IV (табл. 1а и 10).

Таким образом, изложенная методика расчета количества осадков, проходящих через вертикальное сечение, весьма проста в практическом использовании и позволяет легко получать любые пространственные и временные характеристики этой величины. Можно, например, построить карту сезонных ее значений (за период с жидкими осадками) по всей территории СССР.

Нужно заметить, что такая карта уже была представлена в работе А. И. Кругловой [2]. При ее построении использована зависимость величины $\text{ctg}\alpha$ [см. формулу (2)] от скорости ветра u при разной интенсивности дождя I . Казалось бы, методика, примененная в работе [2], аналогична изложенной в данной статье. Однако приводимая А. И. Кругловой зависимость $\text{ctg}\alpha$ от I и u сильно отличается от описанной выше, и результаты расчетов, произведенных с ее использованием, с нашей точки зрения трудно объяснить. К сожалению, в опубликованной литературе нам не удалось обнаружить сколько-нибудь подробного изложения способа получения этой зависимости, кроме упоминания о том, что она получена экспериментально. Поэтому трудно с уверенностью сказать, в чем причина полученного расхождения.

В заключение следует еще раз возвратиться к работе [9], упомянутой в начале данной статьи. Легко видеть, что формула (1) отличается от рекомендуемой нами формулы (9) лишь тем, что вместо величины $1/\bar{v}_p$ в формуле (9), в формуле (1) приводится эмпирический коэффициент 0,27. Физический смысл этого коэффициента вполне ясен — это осредненное значение величины, обратной скорости равновесного падения капель дождя для условий Дальнего Востока. Очевидно, что эта характеристика региональная, она соответствует тем климатическим условиям, для которых она получена. Совершенно очевидно, что коэффициент в формуле (1) будет меняться по территории и во времени в зависимости от изменения структуры дождей, иными словами — их интенсивности. Этим обстоятельством, в частности, объясняется значительный разброс экспериментальных точек на графике, приведенном в работе [9]. Нужно заметить, что этот график получен в результате длительных экспериментальных наблюдений с помощью специально изготовленного прибора, обладающего целым рядом существенных погрешностей [6]. Однако, как показано выше, с гораздо большей точностью ту же зависимость можно получить путем простого расчета, основываясь на хорошо известной и неоднократно исследованной связи параметров структуры дождей с их интенсивностью. Учитывая эту связь и зная примерные характеристики изменчивости месячной интенсивности дождей по территории СССР, легко определить, какие крайние значения может принимать эмпирический коэффициент в формуле (1). В работе [4] приведены средние многолетние величины интенсивности дождей. Например, для

ст. Кемь, порт в мае интенсивность равна 0,32 мм/ч, а для Бату-ми в августе—2,96 мм/ч. Значит, в первом случае коэффициент в формуле (1) равен 0,34, а во втором—0,23. Для района, обследованного в работе [9], средняя интенсивность осадков за сезон примерно равна 1,0 мм/ч. Следовательно, и значение коэффициента в формуле (1) равно 0,27, т. е. точно соответствует тому, которое получено в результате эксперимента. Однако для того же Владивостока даже среднее многолетнее значение этого коэффициента меняется от 0,30 в июне до 0,24 в сентябре. Отсюда следует, что использование среднего регионального коэффициента в формуле (1) приводит к заметным ошибкам при расчете месячных значений h . Эти ошибки будут еще больше, если производить расчеты для конкретных дождей, интенсивность которых меняется в очень широких пределах. Чтобы избежать этих ошибок, следует при расчете количества осадков, проходящих через вертикальное сечение, учитывать не только скорость ветра, но и интенсивность дождей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданова Э. Г. Способ расчета средних значений скорости ветра во время выпадения осадков.—«Тр. ГГО», 1969, вып. 244, с. 48—55.
2. Круглова А. И. Определение количества осадков, выпадающих на стены зданий.—«Промышленное строительство», 1965, № 7, с. 26—27.
3. Кузнецова Л. П. Сравнение скорости ветра и температуры воздуха во время выпадения осадков с их средними месячными значениями.—«Тр. ГГО», 1966, вып. 195, с. 70—80.
4. Лебедев А. Н. Продолжительность дождей на территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1964. 510 с.
5. Литвинов И. В. Функции распределения частиц жидких осадков.—«Изв. АН СССР. Сер. геогр.», 1956, № 12, с. 1474—1483.
6. Перняк Э. Г. О приборе для измерения осадков, выпадающих на вертикальные поверхности.—«Метеорология и гидрология», 1963, № 7, с. 49—50.
7. Справочник по климату СССР. Ч. 3 и 4. Л., Гидрометеиздат, 1967—1970.
8. Цвид А. А. Измерение осадков, выпадающих на вертикальные поверхности.—«Метеорология и гидрология», 1960, № 11, с. 40—42.
9. Цвид А. А., Данилов В. А. О связи количества влаги, выпадающей на вертикальную поверхность, со скоростью ветра и осадками.—Сб. научных работ Дальневосточного ПромстройНИИпроекта, 1964, вып. 6, с. 3—29.
10. Швер Ц. А. Об оценке увлажнения стен при косых дождях.—«Тр. ГГО», 1969, вып. 246, с. 122—129.
11. Best A. C. The size distribution of raindrops.—„Quart. Journ. R., Meteorol. Soc.“, 1950, 76, N 327, p. 16—17.
12. Marshall J. S., Palmer W. K. The distribution of raindrops with size.—„Journ. Meteorol.“, 1948, 5, N 4, p. 165—166.

СТЕПЕНЬ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВЫПАДЕНИЯ ОСАДКОВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЛАНДШАФТНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ

Распределение по территории ряда климатических индексов, характеризующих режим тепла, радиации и увлажнения, хорошо соответствует геоботанической и почвенной зональности [1]. Именно климатические факторы определяют формирование свойств дикорастущих растений. К числу существенных климатических факторов следует отнести и сезонную ритмичность осадков. Так, например, для зоны смешанных лесов на Европейской территории СССР характерно относительно равномерное распределение осадков в течение года, их годовая сумма равна примерно 600 мм. Такое же количество осадков выпадает за год в субтропической зоне, но здесь распределение осадков крайне неравномерно, т. е. почти все они выпадают в течение всего лишь трех зимних месяцев. Смешанных лесов в этой зоне нет. К таким условиям сумели приспособиться жестколиственные субтропические леса и кустарники.

Внутригодовое распределение осадков важно учитывать во всех отраслях науки, связанных с изучением водных ресурсов, при гидротехнических, гидромелиоративных и иных гидрологических расчетах, строительном и дорожном проектировании, эксплуатации промышленных и гражданских сооружений. Оно сказывается на условиях работы многих народнохозяйственных объектов. Однако анализ годового хода осадков до сих пор затруднен отсутствием характеризующего его численного параметра, который позволил бы осуществлять картирование. Обычно внутригодовое распределение представляется дискретным полем в виде картодиаграмм, дополняющих карту количества осадков.

В работе [6] был предложен так называемый индекс сезонности осадков в качестве количественной характеристики их годового хода.

Применен следующий прием. Вместо месячных сумм осадков для анализа принимаются их значения, нормированные по годовой сумме осадков, т. е. так называемые изомеры, которые представляют собой месячные суммы осадков в процентах от годовой суммы. Каждая такая нормированная месячная суммы для i -того

месяца года рассматривается далее как двумерный вектор r_i . Его модуль равен величине месячной изомеры r_i , а направление характеризуется углом α_i в полярной системе координат, началом отсчета которой ($\alpha=0$) считается начало года. Каждому i -тому месяцу года приписано свое определенное значение α_i , зависящее только от порядкового номера i данного месяца в году, а точнее — от числа дней n_i от начала года до середины данного месяца:

$$\alpha_i = \frac{n_i}{365} 360^\circ. \quad (1)$$

Изомеры всех месяцев, нанесенные на одну полярную диаграмму, представляют собой пучок векторов, направленных из одной точки под разными углами.

Далее вычисляется модуль I и направление β вектора I , который является геометрической суммой или равнодействующей всех 12 векторов года:

$$I = \sum_{i=1}^{12} r_i. \quad (2)$$

Расчеты производят аналитическим путем. Для этого на полярной диаграмме проводят две взаимно перпендикулярные координатные оси. Пусть положительное направление оси x совпадает с направлением начала отсчета углов ($\alpha=0$), а положительное направление оси y находится под углом $\alpha=90^\circ$ к оси x . Вычисляются алгебраические суммы проекций всех векторов r_i на оси x и y :

$$I_x = \sum_{i=1}^{12} r_{i, x}, \quad I_y = \sum_{i=1}^{12} r_{i, y}, \quad (3)$$

а по ним модуль I вектора I

$$I = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}. \quad (4)$$

Угол β находится из очевидного соотношения

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{I_x}{I_y}. \quad (5)$$

Составляющие векторов r_i в формулах (3) вычисляются по формулам:

$$r_{i, x} = r_i \cos \alpha_i; \quad r_{i, y} = r_i \sin \alpha_i. \quad (6)$$

Значения α_i и им соответствующие значения $\sin \alpha_i$ и $\cos \alpha_i$ даны в табл. 1.

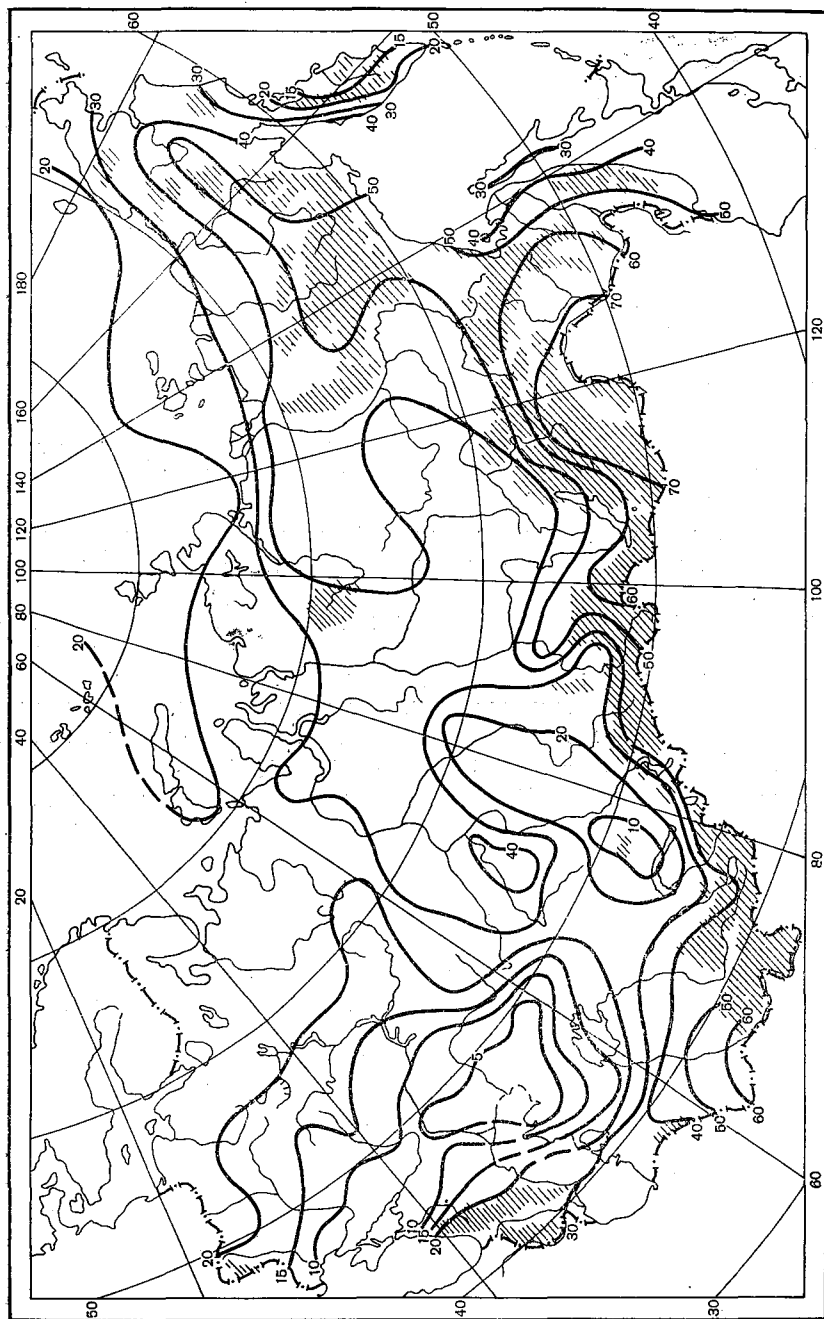


Рис. 1. Степень неравномерности выпадения осадков на территории СССР.

Месяц	I	II	III	IV
α_i	15	43	74	103
$\sin \alpha_i$	0,263	0,699	0,959	0,972
$\cos \alpha_i$	0,966	0,716	0,289	-0,234

Модуль I вектора $\mathbf{I}$, т. е. нормированная по годовой величине осадков геометрическая сумма всех месячных сумм осадков, не совсем удачно назван в упоминавшейся работе [6] степенью сезонности осадков. Назовем его степенью неравномерности выпадения осадков, а направление β вектора $\mathbf{I}$ — месяцем концентрации осадков. Вместе эти два параметра названы векторным индексом сезонности осадков $\mathbf{I}$.

Расчеты I и β произведены для 196 пунктов, равномерно распределенных по равнинной части территории СССР. Как известно [2—4], годовой ход осадков заметно изменяется в результате корректировки их измеренных сумм поправками, учитывающими систематические ошибки осадкомерных приборов. Поэтому расчеты выполнены как по измеренным, так и по исправленным месячным суммам осадков в отдельности. В двух районах, где влияние поправок на годовой ход осадков особенно заметно, — на юге ЕТС и на севере Казахстана — сеть пунктов была сгущена.

Полученные значения I для всех пунктов нанесены на карту, и по этим значениям на карте проведены изолинии степени неравномерности выпадения осадков (рис. 1).

На Европейской территории СССР изолинии I следуют за широтным направлением зоны хвойного, смешанного лесов и лесостепи. По границе этих зон проходят изолинии $I=25$ и 20% . Лесостепь и степь разграничиваются изолинией $I=15\%$, а полупустыня отделяется от степи изолинией $I=10\%$. Таким образом, при переходе из одной зоны в другую изменение степени неравномерности ΔI составляет на ЕТС 5% . Внутри степной зоны изменение I велико — от 14% на северной ее границе до $1-2\%$ на Северном Кавказе. Заметно увеличение I в горной части Кавказа, но подробно распределение I в горных районах в настоящей статье не рассматривается.

В табл. 2 для трех физико-географических районов лесной зоны приведены величины степени неравномерности осадков по их измеренным (I) и исправленным (I') значениям. По мере перемещения на восток, в глубь континента, I и I' увеличиваются. В этом сказывается влияние континентальности на степень неравномерности выпадения осадков. Примечательно, что изменение I и I' от зоны к зоне происходит скачкообразно. Оно превышает колебания этих па-

Таблица 1

для различных месяцев года

V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
134	163	194	224	254	285	314	345
0,727	0,282	-0,256	-0,699	-0,963	-0,968	-0,715	-0,265
-0,690	-0,960	-0,968	-0,716	-0,272	0,251	0,703	0,935

Таблица 2

Степень неравномерности выпадения осадков по измеренным (I)
и исправленным (I') значениям

Станция	I	I'	Станция	I	I'
I. Восточно-Европейская равнина			Свердловск	35	25
Архангельск	22	15	Сургут	32	22
Вологда	24	13	Сытомино	32	24
Каргополь	25	14	Тобольск	34	24
Киров	23	12	Туруханск	28	18
Кола	21	12	III. Восточная Сибирь		
Онега	23	18	Алдан	44	34
Усть-Щугор	25	19	Вилуйск	38	28
Троицко-Печерское	23	12	Витим	32	24
II. Западно-Сибирская равнина			Ербогачён	35	30
Агата	32	27	Иркутск	52	46
Демьянское	35	26	Кюсюр	43	33
Енисейск	29	21	Оленёк	45	39
Лымковские	37	31	Тура	45	38
Полуй	34	27	Туой-Хая	39	32
Ра-Из	33	—	Усть-Мая	41	31
Салехард	27	17	Якутск	45	39

раметров внутри зоны. Особенно наглядно это представлено в табл. 3, где для всех трех зон приведены средние для района значения $\bar{I}$ и $\bar{I}'$ и средние квадратические отклонения σ и σ' значений I и I' отдельных станций от средних для района.

Значения I были вычислены также для двух станций субтропической зоны — Батуми ($I=23\%$) и Ленкорани ($I=35\%$). В субтропиках заболоченной Колхиды (Батуми) величина I оказалась близка к значению I для заболоченных лесов севера ЕТС. Субтропики района Талышских гор ближе к средиземноморским субтро-

Таблица 3

Средние по физико-географическим районам лесной зоны значения степени неравномерности выпадения осадков $\bar{I}$ и $\bar{I}'$ и их изменчивость σ и σ' в пределах района (в процентах)

Район	$\bar{I}$	$\bar{I}'$	σ	σ'
Восточно-Европейская равнина	23	15	1,6	2,5
Западно-Сибирская равнина	32	24	2,9	3,9
Восточная Сибирь	42	34	5,1	5,7

пикам, где для станций Шкодер и Дуррес I в среднем составляет 34%.

В Западной Сибири от полярного круга до 60° с. ш. (лесоболотная зона) I колеблется около 32%. Вдоль южной границы лесной зоны проходит изолиния $I=35\%$, а при переходе к степной зоне $I=40\%$. Далее степень неравномерности выпадения осадков уменьшается, и на южной границе степной зоны при переходе к полупустыне $I=25\%$. Внутри полупустынной зоны I колеблется около 20%, увеличиваясь в зоне северных пустынь до 40—45%.

В Средней Сибири (зона тайги) значение I около 40%. В центральной Якутии I увеличивается до 45—48%. На северо-востоке Сибири (горные ландшафты) I колеблется около 50%. На Камчатке и Сахалине заметно уменьшение I от западного к восточному побережью: на Камчатке от 40 до 15% и на Сахалине от 30 до 25%. В Приморье и горах Южной Сибири I увеличивается от 45% на побережье до 70% в Забайкалье (Чита). Это наибольшие значения степени неравномерности, встречающиеся на территории СССР. Аналогичные величины I получались для Центральной Азии (Чойбалсан и Улан-Батор), где I составляет около 70%. На юге пустынь Средней Азии I увеличивается до 65%.

Наиболее равномерно выпадают осадки на северном побережье Каспийского моря, где $I=5\%$. Это, по-видимому, является причиной создания здесь круглогодичной базы отгонного животноводства.

Отметим, что в полупустынной зоне I в два с лишним раза меньше, чем в пустынной. Внутри зоны значение I растет с запада на восток по мере увеличения континентальности климата (табл. 2, 4).

Обычно степень континентальности оценивается годовой амплитудой температуры воздуха (A°), причем как видно из рис. 2, зависимость A° от долготы места линейная. Из того же рисунка следует, что зависимость I для тех же пунктов лесной зоны при переходе из одной крупной физико-географической области в другую меняется резко, причем переходная зона чрезвычайно мала. Наибольшие значения $A^\circ=64^\circ$ в Якутии, где на общем фоне достаточно низких зимних температур они в ряде мест еще снижаются за счет местных особенностей. Наибольшие значения A° здесь

Таблица 4

Изменение степени неравномерности выпадения осадков в зависимости от континентальности климата

Физико-географический район	Станция	Координаты	Степень неравномерности выпадения осадков, %
Тундра			
Фенно-Скандия	Кола	69° с. ш., 35° в. д.	21
Северо-восток Сибири	Нижнеко- лымск	69° с. ш., 160° в. д.	40
Лесная зона			
Граница Фенно-Скандии и Восточно-Европейской равнины	Ленинград	60° с. ш., 30° в. д.	20
Восточно-Европейская равнина	Вологда	60 40	24
Западная Сибирь	Демьянское	60 70	35
Средняя Сибирь	Туой-Хая	60 110	39
Якутия	Якутск	60 130	45
Северо-Восточная Сибирь	Оймякон	60 143	49
Побережье Охотского моря	Ямск	60 155	27
Лесостепная зона			
Восточно-Европейская равнина	Минск	54° с. ш., 28° в. д.	19
Западная Сибирь	Сладково	54° с. ш., 70	38
Степная зона			
Восточно-Европейская равнина	Днепропет- ровск	48° с. ш., 35° в. д.	11
Центральный Казахстан	Целиноград	48° с. ш., 71	28

соответствуют и большим значениям $I=45\%$. Наибольшая величина степени неравномерности осадков определяется общими циркуляционными факторами. Поэтому закономерно появление максимальной величины степени неравномерности I в центре Евразийского материка. Можно сказать, что I количественно характеризует степень континентальности климата. Так, средние значения для лесной зоны соответственно увеличиваются от 23% на ЕТС, 32% в Западной Сибири до 43% в среднесибирской зоне тайги. Контраст в степени неравномерности выпадения осадков под влиянием континентальности увеличивается в более южных зонах. Если в лесной зоне изменение I с усилением континентальности составляет 10%, то в лесостепной и степной зонах уже порядка 15—20%.

На примере двух станций Предуралья и Зауралья представляется возможным количественно оценить влияние эффекта предвос-

хождения осадков на степень неравномерности. Так, на ст. Чердынь $I=16\%$, а на ст. Ивдель, расположенной на той же широте, но за Уралом, $I=28\%$. В данном случае влияние эффекта предвосхождения на степень неравномерности осадков в течение года оценивается в 12% . Тенденция к уменьшению значения I вследствие эффекта предвосхождения имеет место и в предгорьях Кавказа, гор Средней Азии, Алтая и Саян.

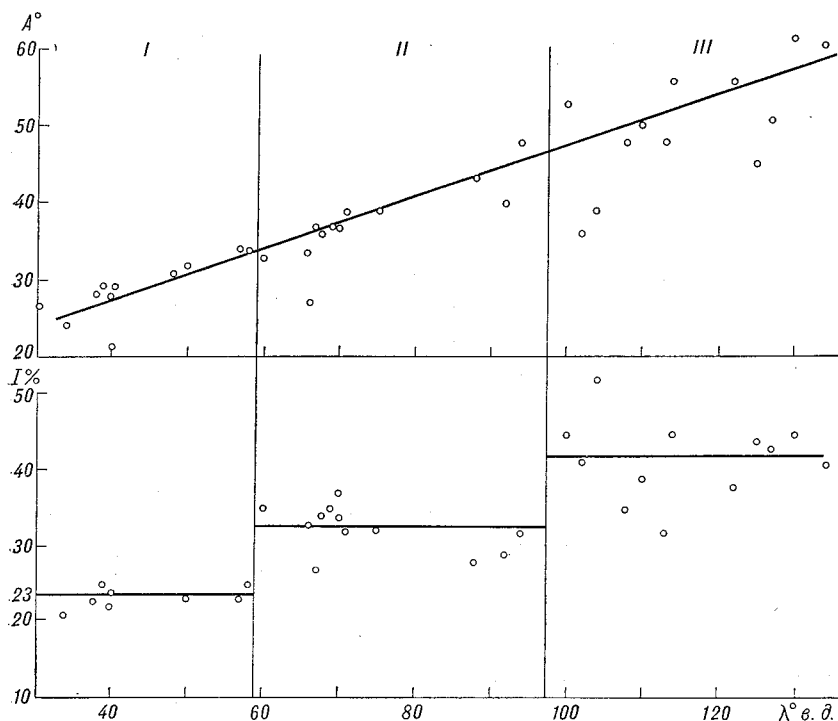


Рис. 2. Зависимость I от степени континентальности климата в лесной зоне.

I — Восточно-Европейская равнина, II — Западно-Сибирская равнина, III — Восточная Сибирь.

Как указывалось в [6], введение поправок в приборные наблюдения, т. е. более правильный учет зимних осадков, привело к уменьшению степени неравномерности осадков. В среднем степень неравномерности I , рассчитанная по измеренным суммам, на 5—8% выше, чем по исправленным нормам. После введения поправок в работе [6] приводились примеры уменьшения аazonальности степени неравномерности выпадения осадков отдельных станций с большими скоростями ветра и особенно оазисных. Там же высказывалось сомнение в правильности поправок, введенных в измеренные

суммы осадков на территории Казахстана. В степной зоне Казахстана степень неравномерности выпадения осадков после введения поправок уменьшилась в среднем на 15% (Чкалово, Золотая Нива, Вознесенка и др.). В районе оз. Балхаш измеренные осадки дают $I=8\%$ (Акчатау, Балхаш, Бектау-Ата), что близко к I для степной зоны ЕТС. Однако, учитывая влияние континентальности (увеличение I на 20%), различие в ландшафтных зонах (уменьшение I на 5%), здесь следовало ожидать степень неравномерности выпадения осадков на 15% выше, т. е. порядка 20—23%. После введения поправок, которые обычно вводятся по нижнему пределу, I' в среднем по этим трем станциям равно 20%, что больше соответствует полупустынной зоне и степени континентальности этого района по сравнению с ЕТС.

Можно отметить определенное несоответствие степени неравномерности выпадения осадков, вычисленной по измеренным осадкам, на двух соседних станциях в верховьях Ишима — Передовик $I=5\%$ и Осокаровка $I=29\%$. После введения поправок в осадки I' для обеих станций сблизились и оказались равными 17 и 15%, т. е. величинам, соответствующим степной зоне.

Однако имеются примеры и неудачного введения поправок. Так, для ст. Совхоз им. Абая $I=6\%$, а $I'=30\%$. Если по измеренным величинам степень неравномерности была занижена, то по исправленным она явно завышена.

Зависимость степени неравномерности осадков от континентальности, а также влияние эффекта предвосхождения на индекс I хорошо прослеживается при сопоставлении значений I на ст. Семипалатинск ($I=14\%$) и на ст. Целиноград. Для ст. Целиноград, где степень континентальности такая же, но отсутствует эффект предвосхождения, I составляет 28%. Полученное различие (28—14=14%) близко к различию за счет эффекта предвосхождения, приведенного выше для станций Чердынь и Ивдель, где оно равно 12%.

В отдельных пунктах отмечается определенная аazonальность I . Например, в Волгограде $I=2\%$ и $I'=13\%$. Последнее значение больше соответствует границе степной и полупустынной зон. I' несколько завышено (возможно на 5%), что объясняется локальным влиянием местоположения метеостанции (скорость ветра увеличена).

В полупустынной зоне ЕТС на станциях Элиста, Утта и Хулхута I соответственно равно 15, 12 и 11%, а $I'=2, 2, 1\%$. В то же время на ст. Астрахань $I=5\%$ и $I'=7\%$. Значение I' на станциях, расположенных в одной ландшафтной зоне, стали ближе, но на станциях Элиста, Утта и Хулхута ветровые поправки несколько (на 3—5%) снизили значение степени неравномерности выпадения осадков.

О концентрации осадков, т. е. о направлении результирующего вектора, сделаны лишь предварительные выводы. Оказалось, что в тех районах, где максимум осадков выражен четко, а такие формы годового хода характерны для большей части территории Со-

ветского Союза, концентрация осадков, т. е. направление результирующего вектора, дает возможность определить максимум осадков с точностью до декады. В тех случаях, когда наблюдаемый максимум выражен нечетко, а растянут на несколько смежных месяцев, расчетный максимум не совпадает с наблюдаемым. Концентрация осадков, рассчитанная по углу β , может приходиться на любой из месяцев этого сезона. В тех случаях, когда имеется вторичный наблюдаемый максимум, концентрация осадков (декада расчетного максимума) приходится на месяц, близкий к первичному максимуму.

После введения поправок к измеренным суммам осадков увеличилась площадь районов, где концентрация осадков приходится на зимний сезон. Граница зоны со средиземноморским типом годового хода осадков сдвинулась к северу и востоку. Переход максимума осадков на зимние месяцы отмечается в Поволжье до Куйбышева и по всей Прикаспийской низменности.

Для отдельных станций, расположенных в различных климатических зонах (Барнаул, Киев, Ленинград, Москва и Оренбург), произведена оценка колебаний I за период 1891—1970 гг. Оказалось, что амплитуда колебаний I на всех станциях весьма велика — от нулевых значений в отдельные годы до $I > 50\%$. В указанный период максимальные значения I достигали в Барнауле 52% (1947 г.), в Киеве 52% (1902 г.), в Ленинграде 53% (1953 г.), в Москве 63% (1962 г.) и в Оренбурге 53% (1934 г.). В отдельные годы могут наблюдаться значительные колебания степени неравномерности выпадения осадков, приближающие в данный год станцию к более континентальному или, наоборот, к более морскому типу годового хода осадков.

Корреляционная зависимость I между Ленинградом и Москвой близка к 0,8, в то время как между Оренбургом и Барнаулом она почти совсем не прослеживается. В отдельные годы может наблюдаться резкое уменьшение I в Ленинграде, а в Москве в такие годы I наоборот — либо выше нормы, либо близко к ней.

В заключение отметим, что степень неравномерности выпадения осадков как численный показатель равномерности годового хода дает возможность не только производить обычное картирование, но и применять статистические приемы для вычисления, например, вероятностных характеристик, анализа циклических колебаний, векового хода, сопряженности годового хода в различных климатических районах. Особенно существенно применение I как показателя для районирования, связанного с природными ландшафтами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будыко М. И. Климат и жизнь. Л., Гидрометеониздат, 1971, с. 304—346.
2. Вопросы методики измерения атмосферных осадков. Под ред. Л. Р. Струзера. Л., Гидрометеониздат, 1965. 208 с. (Тр. ГГО. Вып. 175.)

3. Вопросы методики измерения атмосферных осадков. Под ред. Л. Р. Струзера, Д. П. Беспалова, Л., Гидрометеиздат, 1966. 222 с. (Тр. ГГО. Вып. 195.)
4. Вопросы методики измерения атмосферных осадков. Под ред. Л. Р. Струзера, Л., Гидрометеиздат, 1968. 156 с. (Тр. ГГО. Вып. 215.)
5. Справочник по климату СССР. Ч. 4. Влажность воздуха, атмосферные осадки и снежный покров. Вып. 1—34. Л., Гидрометеиздат, 1967—1970.
6. Швер Ц. А. Степень сезонности осадков.— «Тр. ГГО», 1973, вып. 303, с. 93—103.

СОДЕРЖАНИЕ

Л. А. Буртаков, В. Э. Югансон. Экспериментальные исследования жидких осадков в горах (Кавказ, бассейн р. Баксан)	3
Л. Р. Струзер, Э. Г. Богданова. Основы методики учета влияния метелей при корректировке норм атмосферных осадков	18
А. П. Браславский, Л. Р. Струзер, К. Б. Шергина. Методика определения исправленных величин атмосферных осадков при срочных наблюдениях	32
Э. Г. Богданова, Л. Р. Струзер. Учет вида осадков при определении ветровой погрешности их измерения	51
Ц. А. Швер. Годовое количество осадков на территории СССР по исправленным данным	57
Л. Р. Струзер. Об изменении норм атмосферных осадков при переходе к четырем срокам наблюдений за осадками в сутки	65
Э. Г. Богданова. О связи интенсивности жидких осадков с температурой и влажностью воздуха	73
Э. Г. Богданова. Методика расчета сумм осадков, проходящих через вертикальное сечение	79
Ц. А. Швер. Степень неравномерности выпадения осадков как показатель ландшафтной зональности	87

Труды ГГО, вып. 341

**Атмосферные осадки. Методика измерений
и расчетов**

Редактор *Л. В. Ковель*

Техн. редактор *Л. М. Шишкова*

Корректоры: *Г. С. Макарова, А. В. Хюркес*

Сдано в набор 27/VI 1974 г. Подписано к печати 4/XII 1974 г. М-06616. Формат $60 \times 90^{1/16}$, бумага тип. № 1. Печ. л. 6,75 (с вкл.). Уч-изд. л. 6,69. Тираж 850 экз. Индекс МЛ-133. Заказ № 548. Цена 47 коп.

Гидрометеиздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, 23.

Сортавальская книжная типография Управления по делам издательств, полиграфии и книжной торговли Совета Министров Карельской АССР. Сортавала, Карельская, 42.

Экспериментальные исследования жидких осадков в горах (Кавказ, бассейн р. Баксан). Буртаков Л. А., Югансон В. Э. Труды ГГО, 1975, вып. 341, с. 3—17.

Приведены некоторые результаты экспериментальных исследований жидких осадков, проведенных в 1971 г. в Приэльбрусье.

Для облегчения работы в условиях сложного горного рельефа использован пентадный дождемер. Описывается конструкция прибора, правила его установки и результаты исследования его погрешностей.

В 16 разных пунктах горной долины вертикальными и наклонными дождемерами измерены метеорологические и склоновые осадки, с помощью вектоплювиометров определены ориентация и наклон траекторий падения дождевых капель.

Показано, что гипотеза о прямолинейности и параллельности этих траекторий над горным бассейном не оправдывается.

Исследована степень связности сумм метеорологических и склоновых осадков на различных элементах высокогорного рельефа. Показано, что она того же порядка, что и на равнине. Получены уравнения связи для расчета сумм осадков, выпадающих на разных склонах, по суммам осадков, измеренным на станции (дно долины).

Табл. 10. Илл. 2. Библ. 7.

Основы методики учета влияния метелей при корректировке норм атмосферных осадков. Струзер Л. Р., Богданова Э. Г. Труды ГГО, 1975, вып. 341, с. 18—31.

На основе зависимости интенсивности ложных осадков от скорости ветра, установленной авторами в предшествующих работах, развита методика расчета поправок к средним многолетним месячным и сезонным суммам (нормам) осадков, учитывающих влияние метелей. Расчет ложных осадков может быть осуществлен и в тех случаях, когда известна только средняя скорость ветра и число дней с метелями. Учитывается степень защищенности станции.

Для практического применения предложены формулы и расчетные графики.

Табл. 3. Илл. 6. Библ. 8.