

Оценка влияния защищенности установки осадкомера на величину ветровой погрешности измерения осадков

Э. Г. Богданова*, Б. М. Ильин*,
С. Ю. Гаврилова*

Оценены ошибки, возникающие при корректировке измеренных сумм осадков из-за погрешности определения скорости ветра на высоте приемной поверхности осадкомера, связанной с неверной оценкой степени защищенности установки осадкомера. Показано, что максимальные за год значения ошибок, характерные для полярных регионов с большими скоростями ветра, могут достигать 20% скорректированной годовой суммы осадков. В Центральной России в среднем значение максимальной ошибки колеблется в пределах 4—8% в зависимости от скорости ветра. Для месячных сумм осадков максимальная ошибка корректировки из-за неверного определения параметров защищенности может быть как больше, так и меньше реальной суммарной погрешности измерения осадков, но всегда остается величиной вполне значимой, соизмеримой с общей погрешностью корректировки.

Введение

Как правило, осадкомерные приборы устанавливаются так, что их приемная поверхность находится на некоторой высоте над подстилающей поверхностью. В разных странах эта высота чаще всего обусловлена климатическими причинами. Там, где преобладают жидкие осадки и отсутствует снежный покров и связанные с ним метели, достаточно высоты 30—50 см над землей, чтобы избежать погрешностей возможного забрызгивания в осадкомер воды с окружающей поверхности или наметания снега при поземке. В полярных и арктических регионах, где период с твердыми осадками и снежным покровом составляет значительную и даже преобладающую часть года, велики скорости ветра и, соответственно, продолжительность метелей, стандартная высота установки осадкомеров составляет обычно от 1,5 до 3 м над поверхностью земли [14].

На какой бы высоте ни был установлен осадкомер, он всегда представляет собой препятствие ветровому потоку, из-за чего искажаются траектории и, соответственно, изменяется количество частиц осадков, попадающих в осадкомер, по сравнению с их количеством, выпадающим на ту же площадь в ненарушенном ветровом потоке. Погрешность измерения осадков, возникающую в результате этого эффекта, называют обычно аэродинамической или ветровой погрешностью (или ветровым недоучетом осадков).

* Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова.

Изучение данной погрешности происходило особенно интенсивно в течение последнего полувека с целью выявления ее количественной зависимости от определяющих физических параметров — скорости ветра и скорости падения частиц осадков [1, 3, 4, 8—10]. В итоговом отчете о проведенных под эгидой ВМО Международных сравнениях осадкомеров, измеряющих твердые осадки [15], приведены уравнения, определяющие значения аэродинамической погрешности для основных наиболее распространенных конструкций стандартных осадкомеров. В их числе — осадкомер Третьякова (Россия), 8-дюймовый осадкомер США в защите Алтера и без защиты, канадский снегомер с модифицированной защитой Нифера и дождемер Гельмана, используемый в европейских странах.

Во всех этих уравнениях в качестве основного параметра используется скорость ветра во время осадков на высоте приемной поверхности осадкомера. Однако непосредственные измерения скорости ветра на высоте осадкомера в программу стандартных наблюдений на метеорологических станциях не входят. Для определения этой величины приходится использовать данные ветроизмерительных приборов на той высоте, которая принята в качестве стандартной для измерения скорости ветра. В частности, на сети станций Росгидромета в настоящее время эта высота составляет 10 м, а в прежние годы высота флюгера могла варьировать в пределах 6—18 м.

Определение скорости ветра на высоте осадкомера (для осадкомера Третьякова эта высота равна 2 м) по данным ветроизмерительного прибора на любой известной высоте не представляет существенных затруднений в случае ровной открытой местности, где при известной шероховатости подстилающей поверхности эту скорость легко рассчитать по логарифмическому закону:

$$U_h = k_n U_H, \quad (1)$$

где U_h — скорость ветра на высоте осадкомера, U_H — скорость ветра на высоте ветроизмерительного прибора, k_n — логарифмический коэффициент, рассчитываемый по формуле

$$k_n = \lg(h/z_0) / \lg(H/z_0). \quad (2)$$

Здесь h — высота приемной поверхности осадкомера над землей (или снежным покровом), H — высота ветроизмерительного прибора, z_0 — параметр шероховатости (все характеристики — в метрах).

Однако в реальных условиях полностью открытые метеорологические площадки встречаются сравнительно редко. Чаще всего в окружении установки осадкомера находятся какие-либо препятствия, искажающие логарифмический профиль изменения скорости ветра с высотой. Это могут быть различные строения, деревья, кустарник и т. п. В работе Е. А. Федоровой [11] предложена следующая формула для учета влияния защищенности установки осадкомера при расчете скорости ветра на высоте его приемной поверхности:

$$U_h = m k_n U_H. \quad (3)$$

Коэффициент m зависит от вертикального угла закрытости горизонта α в месте установки осадкомера в направлении ветра:

$$m = 1 - 0,024\alpha. \quad (4)$$

В настоящее время данная зависимость используется практически во всех исследованиях при необходимости расчета скорости ветра на высоте осадкомера по данным стандартного ветроизмерительного прибора.

Таким образом, при определении ветровой погрешности осадкомера, а также при оценке влияния снегопереноса на попадание ложных осадков в осадкомер во время метелей (см. статью [2]) следует учитывать не только скорость ветра на высоте стандартного ветроизмерительного прибора, но также и характеристики защищенности установки осадкомера. Это существенно усложняет задачу, так как параметры защищенности, во-первых, различны на разных станциях и, во-вторых, могут меняться во времени на одной и той же станции либо вследствие переноса площадки, либо при застройке или зарастании или, наоборот, вырубки окрестной растительности. Все эти изменения определенно будут отражаться на величине рассчитываемой погрешности.

Цель данной работы — определить пределы изменений суммарной систематической погрешности измерения осадков осадкомером Третьякова, обусловленные возможными изменениями степени защищенности установки осадкомера.

Методика расчетов. Исходные данные

В соответствии с предложенной еще в 1970-х годах В. С. Голубевым и уточненной в последние годы методикой корректировки осадков, измеренных осадкомером Третьякова [2], действительное количество осадков, выпавших из облаков, рассчитывается по формуле

$$P = K (P'' + \Delta P - P''_{f1} - P''_{f2}), \quad (5)$$

где K — коэффициент, учитывающий влияние аэродинамических факторов на результат измерения осадков; P'' — результат измерения осадков по измерительному стакану (если измеренное количество осадков отмечено как следы, то P'' принимается равным 0,0 мм); ΔP — поправка, компенсирующая эффект воздействия процессов испарения, конденсации и смачивания внутренней поверхности осадкомера при каждом измерении осадков, в том числе, когда их измеренное количество равно 0 мм; P''_{f1} и P''_{f2} — поправки, учитывающие количество ложных осадков, попавших в осадкомер соответственно за время общей и низовой метели.

В уравнении (5) три члена в правой его части зависят от скорости ветра на высоте осадкомера: аэродинамический коэффициент K и количество ложных осадков при общих и низовых метелях. Подробное описание алгоритмов расчета всех членов уравнения (5) содержится в статьях [2, 13].

На рис. 1 показана зависимость аэродинамического коэффициента K от скорости ветра на высоте осадкомера для жидких, твердых и смешанных осадков. Кривые на графике соответствуют уравнению (2) и значениям параметра структуры осадков из статьи [2].

Таким образом, влияние скорости ветра на величину исправленных осадков определяется ее значением на высоте ветроизмерительного прибора, вертикальным углом закрытости горизонта в окружении осадкомера, а также радиусом снегосборного бассейна (l , m) в окружении осадкомера. От величины этого радиуса зависит степень насыщенности снеговетрового

потока во время метелей (см. формулы для определения интенсивности метелей при расчете ложных осадков в [2, 13]).

Степень влияния защищенности на величину суммарной погрешности измерения осадков, зависящую от скорости ветра, будем характеризовать разностью $P_0 - P_3$ (мм), где P_0 — количество осадков, скорректированное по формуле (5) при условии полной открытости установки осадкомера, т. е. при $\alpha = 0^\circ$ и $l \geq 3000$ м по всей окружности горизонта; P_3 — также скорректированное по формуле (5) количество осадков, но при условии максимальной защищенности установки осадкомера, т. е. при $\alpha = 20^\circ$ и $l = 30$ м по всей окружности горизонта. Следует иметь в виду, что рассчитанные таким образом значения P_0 и P_3 по отдельности не являются действительным количеством осадков, выпавших бы на данной станции при условии ее полной открытости или максимальной защищенности, так как в (5) при их расчете используются одно и то же значение измеренных осадков P'' и одна и та же продолжительность метелей, определяющая количество ложных осадков. Эти величины различны при разной защищенности осадкомера. Но в нашем случае требуется оценить именно величину ошибки, допускаемой при неверном определении защищенности, когда измеренная сумма осадков и продолжительность метелей соответствуют реальной защищенности осадкомера. Для этой цели использование разности $P_0 - P_3$ вполне правомерно.

Все расчеты проведены для этапа корректировки сумм осадков за отдельные сроки измерений. Дальнейшее обобщение результатов произведено на уровне месячных, сезонных и годовых сумм осадков.

Значение максимального вертикального угла закрытости горизонта $\alpha = 20^\circ$ выбрано на основании анализа описаний и графиков закрытости горизонта множества реальных метеорологических площадок из Климатического справочника СССР [5], а также на основании оценок, проведенных при классификации защищенности осадкомеров по методу Ц. А. Швер [12] в процессе составления Справочника по климату СССР [7]. В работе [1], где специально анализировались максимальные параметры защищенности реальных метеорологических площадок, показано, что к таковым относятся небольшие лесные поляны (размером примерно 100×100 м) в лесных массивах, где значения параметра t в формуле (3) близки к 0,50, что соответствует величине $\alpha \approx 20^\circ$. Соответственно величина минимального радиуса снегосборного бассейна l принята равной 30 м из тех соображений, что при максимальной защищенности площадки интенсивная насыщенная метель практически не наблюдается.

Кроме абсолютных значений разностей $P_0 - P_3$ (в миллиметрах), рассчитывались также их относительные месячные, сезонные и годовые значения в процентах от соответствующих сумм осадков, скорректированных

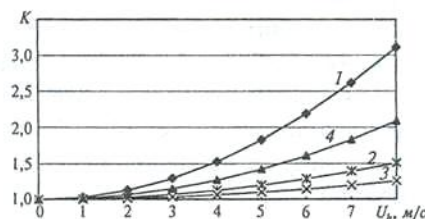


Рис. 1. Зависимость аэродинамического коэффициента K от скорости ветра на высоте призмной поверхности осадкомера Третьякова U_h для твердых (1), жидких (2, 3) и смешанных (4) осадков.

Температура воздуха во время выпадения жидких осадков < 2 (2) и $> 2^\circ\text{C}$ (3).

на каждой станции с учетом ее реальных значений α и l , т. е. определялись значения $(P_0 - P_3)/P$, где P — действительное количество осадков, выпавших из облаков в данном пункте.

В качестве исходных материалов для расчета средних месячных, сезонных и годовых значений P , P_0 и P_3 использовались данные срочных метеорологических наблюдений на выборочной сети станций, перечисленных в таблице. Период обработки составлял в большинстве случаев 5—6 лет (на разных станциях от 3 до 8 лет) с конца 1990-х по начало 2000-х годов. Эти материалы были получены непосредственно из центров обработки соответствующих региональных управлений по гидрометеорологии. Частично использовались также срочные данные за 1986—1990 гг. из CD-архива, подготовленного во ВНИИГМИ-МЦД [6], где содержатся все необходимые данные для расчета P , P_0 и P_3 .

Результаты расчетов и их анализ

Сравнительный анализ значений P , P_0 и P_3 проводился по их годовым и сезонным значениям, осредненным за указанный выше период. При этом сезоны выделялись не по традиционно принятым в климатологии календарным градациям (либо теплый и холодный, либо зима — весна — лето — осень), а в зависимости от вида выпадающих осадков. Год делился на два сезона: период с жидкими осадками и период с твердыми и смешанными осадками (с точностью до месяца). Естественно, на разных широтах эти периоды имеют разную длительность.

Годовые и сезонные значения разностей между P_0 и P_3 в абсолютном ($P_0 - P_3$, мм) и относительном ($(P_0 - P_3)/P$, %) выражениях представлены в таблице. В этой же таблице показаны средние годовые значения вертикального угла закрытости горизонта α , характеризующие реальную защищенность установки осадкомера на данной станции.

На рис. 2 годовые разности P_0 и P_3 из таблицы представлены на карте. Это помогает более наглядно показать зависимость их значений от климатических условий, главным образом от скорости ветра и соотношения твердых и жидких осадков в их годовой сумме, т. е. опосредованно — от годового хода температуры воздуха и количества осадков. Около каждой точки, определяющей местоположение станции, в виде дроби обозначены абсолютные и относительные значения разностей.

Максимальные разности между P_0 и P_3 наблюдаются в районах с сильными ветрами и низкими температурами при значительной доле твердых и смешанных осадков в общей годовой сумме осадков. На Камчатке (станции Петропавловск-Камчатский, Ключи, Ича), а также на Приполярном Урале (Хоседа-Хард) отмечаются наибольшие абсолютные значения разности $P_0 - P_3$, превышающие 100 мм в год, что составляет 13—16% исправленного годового количества осадков на этих станциях. На арктических островах (о. Диксон и о. Врангеля) относительное значение разности $(P_0 - P_3)/P$ достигает 19—20%, что в абсолютном выражении составляет здесь 31 и 33 мм соответственно.

Наименьший диапазон изменения общей погрешности измерения осадков в зависимости от степени защищенности осадкомера отмечается в центральных районах Сибири и в Якутии (Красноярск, Тура, Ванавара, Верхоянск). Здесь абсолютные значения общей погрешности колеблются в

Сезонные и годовые разности между суммарной систематической погрешностью измерения осадков, рассчитанные для открытой (P_0) и максимально защищенной (P_3) установки осадкомера

Станция	Твердые и смешанные осадки		Жидкие осадки		Год		U_H	α , град
	$P_0 - P_3$, мм	$(P_0 - P_3)/P$, %	$P_0 - P_3$, мм	$(P_0 - P_3)/P$, %	$P_0 - P_3$, мм	$(P_0 - P_3)/P$, %		
Архангельск	41,7	11	3,5	1	45,2	7	2,8	5
Вологда	34,1	12	6,1	2	40,2	7	3,5	2
Хоседа-Хард	93,8	19	7,1	5	100,9	16	4,7	3
Печора	55,7	13	8,7	3	64,4	9	3,3	1,4
Нарьян-Мар	52,4	13	5,7	3	58,1	10	3,7	1,3
Усть-Цильма	89,6	19	8,2	4	97,8	14	4,2	3
Киров	36,6	9	3,4	1	40,0	5	2,4	8
Ижевск	28,1	11	8,5	3	36,6	6	4,0	2
Нижний Новгород	19,5	5	2,8	1	22,3	3	2,1	13
Саратов	26,6	12	5,4	2	32,0	6	3,0	7
Самара	25,6	8	3,0	1	28,6	5	2,4	8
Октябрьский Городок	31,2	11	7,0	3	38,2	7	4,0	3
Оренбург	48,3	17	6,2	3	50,0	11	4,3	1,5
Александров-Гай	27,1	18	5,8	3	32,9	10	3,8	8
Ивдель	14,8	6	3,3	1	18,1	3	1,8	5
Бисер	69,1	13	10,4	2	79,5	8	3,1	3
Курган	19,9	11	9,0	3	28,9	6	4,3	3
Красноуфимск	19,9	6	2,0	1	21,9	4	2,0	8
Пермь	36,0	10	4,6	1	40,6	6	2,6	6
Хангы-Мансийск	25,4	9	6,3	2	31,7	5	2,4	6
Тобольск	38,2	14	6,8	2	45,0	7	3,3	4
Омск	23,2	10	2,9	1	26,1	6	2,6	4
Красноярск	8,3	7	1,8	1	10,1	2	2,0	10
Ванавара	9,4	4	1,7	1	11,1	2	1,6	5
Тура	14,1	5	1,4	1	15,5	3	1,7	3
Туруханск	88,2	18	6,1	2	94,3	13	3,5	5
Магадан	26,9	10	6,2	2	33,1	6	3,9	7
Сеймчан	22,4	9	1,9	1	24,3	6	2,3	4
Охотск	52,4	20	10,4	4	62,8	12	3,7	2
Ключи	92,8	16	4,4	2	97,2	13	3,3	4
Ича	101,2	23	23,7	8	124,9	16	4,8	2
Петропавловск-Камчатский	163,7	22	27,4	5	191,1	15	4,0	12
О. Врангеля	28,5	25	4,2	8	32,7	20	5,0	2
Оленок	28,9	13	7,4	5	36,3	10	3,1	2
Верхоянск	6,1	6	1,8	2	7,9	4	1,9	3
О. Диксон	78,4	21	2,4	7	80,8	19	6,9	0,4

Примечание. P — исправленное количество осадков на данной станции в условиях реальной защищенности.

пределах 8—16 мм в год, а относительные составляют 2—4% годовой суммы осадков. Такие минимальные значения объясняются, главным образом, очень слабыми скоростями ветра в течение всего года, а также резким зимним минимумом в годовом ходе осадков.

В центральной части европейской территории России в среднем относительное годовое значение разности $(P_0 - P_3)/P$ меняется в пределах 4—8%, главным образом в зависимости от скорости ветра. На станциях, где городская застройка или лесное окружение оказывают существенное

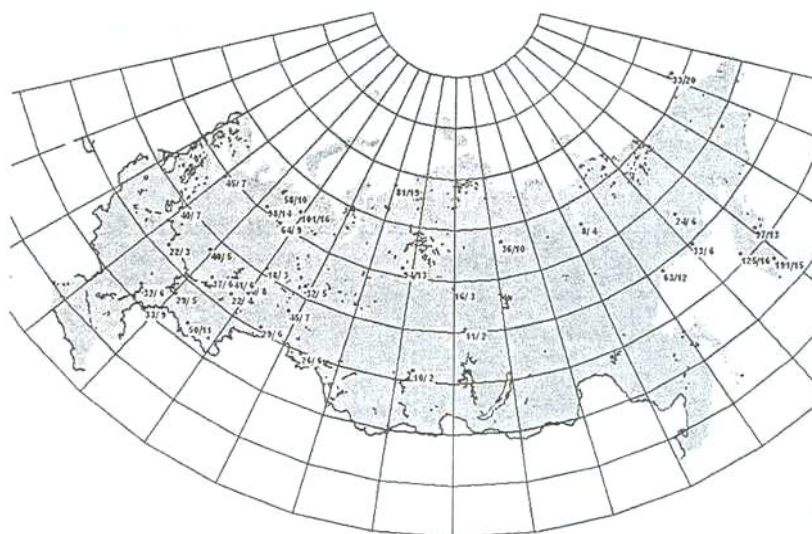


Рис. 2. Карта абсолютных (числитель, мм) и относительных (знаменатель, %) годовых значений разности между количеством осадков, скорректированных при условии полной открытости и максимальной защищенности установки осадкомера.

влияние на скорость ветра уже на высоте ветроизмерительного прибора (Нижний Новгород, Ивдель), значения разности $P_0 - P_3$ также уменьшаются до 18—22 мм (~3%).

Увеличение относительных значений $(P_0 - P_3)/P$ к югу до 9—11% (33—50 мм) (Александров-Гай, Оренбург) связано с увеличением скоростей ветра в степной зоне и сравнительно равномерным годовым ходом осадков со слабо выраженным осенне-зимним максимумом.

Сезонные значения исследуемых разностей резко различаются для периодов с жидкими и с твердыми и смешанными осадками. В подавляющем большинстве рассмотренных случаев за период с жидкими осадками значения $(P_0 - P_3)/P$ не выходят за пределы 1—3% суммы осадков за соответствующий период. Максимальные значения (5—8%) отмечаются там же, где и годовые максимумы, — на Камчатке, арктических островах и на Приполярном Урале. Абсолютные значения разности $P_0 - P_3$ за период с жидкими осадками на всей исследуемой территории варьируют в пределах от 3 до 27 мм за сезон.

Для периода с твердыми и смешанными осадками отмечаются те же закономерности распределения исследуемых разностей, что и для годовых значений, с той разницей, что относительные сезонные значения разности $(P_0 - P_3)/P$ больше (до 23—25% на станциях Ича и о. Врангеля), а абсолютные $(P_0 - P_3)$ — меньше (1—3 мм на 12 станциях из рассмотренных 36).

Особенно наглядно степень влияния защищенности осадкомера на величину общей погрешности измерения осадков прослеживается при анализе годового хода значений P_0 и P_3 . На рис. 3 в качестве примера представлен годовой ход значений P_0 и P_3 для четырех станций с максимальными скоростями ветра и разной защищенностью осадкомера. В таких

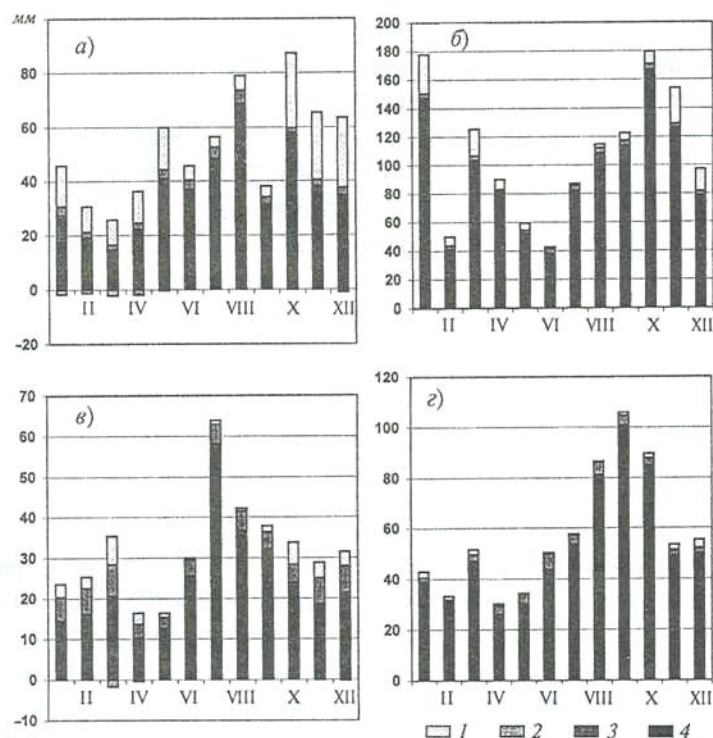


Рис. 3. Годовой ход погрешностей измерения осадков на станциях с разным режимом их выпадения.

1 — ветровая погрешность; 2 — поправка на смачивание, испарение и конденсацию; 3 — ложные осадки; 4 — измеренные осадки. а) станция Хоседа-Хард; б) Петропавловск-Камчатский; в) Сеймчан; г) Нижний Новгород.

условиях ошибка в определении общей погрешности измерения осадков из-за неверного определения защищенности осадкомера достигает наибольших значений. На этом же рисунке показаны также значения P (мм) — действительное количество осадков, рассчитанное с учетом реальных условий защищенности на данной станции, а также значения P'' — непосредственно измеренное количество осадков без учета погрешностей измерения. Разность между этими величинами представляет собой общую погрешность измерения осадков. Сравнение ее с величиной $P_0 - P_3$ наглядно демонстрирует, какую часть от общей погрешности может составлять ошибка в ее определении, обусловленная неверным учетом защищенности установки осадкомера.

Вполне закономерно, что наибольшие значения разности $P_0 - P_3$ на всех станциях наблюдаются в месяцы с твердыми осадками и при сильных ветрах. В месяцы с интенсивными метелями и, соответственно, значительным количеством ложных осадков в их измеренной сумме P'' разность $P - P''$ существенно уменьшается (и даже становится отрицательной, как например на о. Диксон в период с ноября по январь). В таких случаях разность $P_0 - P_3$ становится существенно больше, чем реальная величина суммарной погрешности $P - P''$ (с учетом знака этой погрешности).

В месяцы с жидкими осадками, а также и с твердыми и смешанными, но при незначительном количестве ложных осадков (например, осенью, когда еще нет снежного покрова и выпадающий снег из-за сравнительно высоких температур не подвержен дефляции) значения $P_0 - P_3$ всегда меньше, чем $P - P''$, но эти разности вполне соизмеримы. Например, на станции Хоседа-Хард отношение $(P_0 - P_3)/(P - P'')$ в период с мая по ноябрь варьирует от 37 (июль) до 71% (октябрь).

Таким образом, в месячных суммах максимальная ошибка корректировки осадков из-за неверного определения значений α и l может быть как больше, так и меньше реальной суммарной погрешности измерения осадков, но всегда остается величиной вполне значимой, соизмеримой с общей погрешностью.

Выводы

Максимальные значения погрешности определения скорректированных сумм осадков, обусловленные ошибками в определении защищенности установки осадкомера, наблюдаются в районах с сильными ветрами и низкими температурами (арктическое и северо-восточное побережье РФ, а также приполярные районы). Годовые значения этой погрешности могут достигать 20% скорректированной годовой суммы осадков, рассчитанной с учетом реальной защищенности осадкомера. В абсолютном выражении на исследуемой территории данная погрешность может достигать 100 мм в год и более.

Наименьшее годовое значение диапазона изменений общей погрешности измерения осадков в зависимости от защищенности осадкомера отмечается в районах со слабыми ветрами и зимним минимумом осадков (центральные районы Сибири, Якутия). Здесь его абсолютные значения колеблются в пределах 8—16 мм в год, а относительные составляют 2—4% годовой суммы скорректированных осадков.

Сезонные значения исследуемой погрешности значительно различаются для периодов с жидкими и с твердыми и смешанными осадками. В большинстве случаев за период с жидкими осадками значения погрешности не выходят за пределы 1—3% суммы осадков за соответствующий период. Максимальные значения (5—8%) отмечаются там же, где и годовые максимумы, — на Камчатке, арктических островах и на Приполярном Урале. Абсолютные значения погрешности за период с жидкими осадками на всей исследуемой территории варьируют в пределах от 3 до 27 мм за сезон.

Для периода с твердыми и смешанными осадками отмечаются те же закономерности распределения исследуемой погрешности, что и для годовых значений, с той разницей, что ее относительные сезонные значения больше (до 23—25% на станциях Ича и о. Врангеля), а абсолютные — меньше (1—3 мм на 12 станциях из рассмотренных 36).

В месячных суммах осадков максимальная ошибка корректировки из-за неверного определения параметров защищенности может быть как больше, так и меньше реальной суммарной погрешности измерения осадков, но всегда остается величиной вполне значимой, соизмеримой с общей погрешностью.

В заключение следует отметить, что для более корректного учета влияния ветра на показания осадкомера наилучшим средством была бы установка на метеорологической площадке дополнительного ветроизмерительного прибора на уровне приемной поверхности осадкомера. С его помощью можно было бы получать вполне надежные сведения о скорости ветра во время осадков на высоте осадкомера, избегая всех погрешностей в определении параметров защищенности, а также случайных ошибок, связанных с использованием формулы (3).

Литература

1. Богданова Э. Г. Исследование ветровой погрешности измерения осадков. — Труды ГГО, 1965, вып. 195, с. 40—62.
2. Богданова Э. Г., Голубев В. С., Ильин Б. М., Драгомилова И. В. Новая модель корректировки измеренных осадков и ее применение в полярных районах России. — Метеорология и гидрология, 2002, № 10, с. 68—94.
3. Голубев В. С. Изучение точности учета атмосферных осадков. — Труды ГГИ, 1969, вып. 176, с. 149—164.
4. Голубев В. С. Методика корректировки срочных и месячных величин атмосферных осадков и результаты ее проверки. — Труды ГГИ, 1973, вып. 207, с. 11—27.
5. Климатологический справочник СССР. Часть 1. История и физико-географическое описание метеорологических станций. — Л., Гидрометеиздат, 1969—1971.
6. Разуваев В. Н., Апасова В. Г., Мартуганов Р. А. Шести- и трехчасовые метеорологические наблюдения по данным 223 станций СССР. — Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 1995, 69 с.
7. Справочник по климату СССР, часть IV, вып. 1—34. — Л., Гидрометеиздат, 1965—1970.
8. Струзер Л. Р. (ред.) Вопросы методики измерения атмосферных осадков. — Труды ГГО, 1965, вып. 175, 208 с.
9. Струзер Л. Р. Основные недостатки и пути улучшения методов измерения атмосферных осадков. — Труды ГГО, 1965, вып. 175, с. 5—23.
10. Струзер Л. Р., Нечаев И. Н., Богданова Э. Г. Систематические погрешности измерения атмосферных осадков. — Метеорология и гидрология, 1965, № 10, с. 50—54.
11. Федорова Е. А. Учет степени защищенности станций при вычислении скорости ветра на уровне осадкомера. — Труды ГГО, 1996, вып. 195, с. 63—69.
12. Швер Ц. А. Исследование результатов наблюдений по осадкомеру и дождемеру. — Л., Гидрометеиздат, 1965, 170 с.
13. Bogdanova E. G., Ilyin B. M., and Dragomilova I. V. Application of a comprehensive bias-correction model to precipitation measured at Russian North Pole drifting stations. — Journal of Hydrometeorology, 2002, vol. 3, pp. 700—713.
14. Sevruk B. and Klemm S. Types of Standard Precipitation Gauges. WMO, Rep. No. 48, International Workshop of Precipitation Measurements, WMO/TD-No. 328. — Geneva, WMO, 1989.
15. WMO. Instruments and Observing Methods, Rep. No. 67, Solid Precipitation Measurement Intercomparison, Final Report, WMO/TD-No. 872. — Geneva, WMO, 1998, 300 p.