

## Новая модель корректировки измеренных осадков и ее применение в полярных районах России

Э. Г. Богданова\*, В. С. Голубев,  
Б. М. Ильин\*, И. В. Драгомилова\*

*Представлена новая модель корректировки осадкомерных данных, учитывающая все основные систематические погрешности измерения осадков осадкомером Третьякова. Предложен алгоритм, на основании которого разработана программа корректировки суточных сумм осадков. Приведены результаты корректировки суточных сумм осадков, измеренных на 16 станциях арктического побережья и полярных районов России от Мурманска до м. Шмидта за период с середины 1950-х по 1990 г. При корректировке учтены все систематические погрешности измерения осадков осадкомером Третьякова: ветровой недоучет, суммарный эффект процессов смачивания, испарения и конденсации на внутренней поверхности осадкоприемного сосуда, а также эффект "ложных" осадков, попадающих в прибор во время метелей. Полученные результаты обобщены и представлены в виде стандартных средних многолетних характеристик (месячные и годовые суммы, внутригодовое распределение). Оценены различия между соответствующими характеристиками, полученными по измеренным и скорректированным осадкам.*

### 1. Введение. История вопроса

Количество атмосферных осадков, измеренных с помощью любого осадкомерного прибора, как правило, меньше, чем количество действительно выпавших осадков, вследствие систематических ошибок, связанных с конструкцией прибора. Для осадкомера Третьякова к числу основных систематических погрешностей относятся: аэродинамическая (ветровой недоучет), потери осадков на смачивание внутренней поверхности осадкосборника, искажения в результате процессов испарения и конденсации, а также наметание в осадкомер снега, поднятого с поверхности снежного покрова при сильных метелях. По оценкам, полученным в 1960-х годах [2, 3, 8, 11, 13, 31, 32, 34—36, 40, 41], количество жидких осадков систематически уменьшается на 10—15% измеренной суммы, количество твердых и смешанных осадков — на 30—60%. Столь значительные погрешности измерения чрезвычайно затрудняют использование сведений об осадках как в научных исследованиях, так и в хозяйственной практике.

С конца 1950-х по 1980-е годы предпринимались обширные экспериментальные исследования погрешностей стандартных осадкомеров. Они

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

проводились как в рамках международных программ под эгидой ВМО [30, 39, 48], так и независимо от них на широкой сети научно-исследовательских учреждений и наблюдательных пунктов Гидрометслужбы СССР под руководством Главной геофизической обсерватории (ГГО) и Государственного гидрологического института (ГГИ). Результаты исследований широко публиковались в научной печати [2, 3, 8, 11, 13, 31, 32, 34—36, 40, 41] и нашли практическое применение, в частности, при создании таких фундаментальных обобщений, как Справочник по климату СССР [28], Атлас мирового водного баланса [25], Атлас снежно-ледовых ресурсов мира [1] с сопутствующими монографиями.

Все разработанные в ГГО методики определения систематических погрешностей измерения осадков, примененные в вышеназванных и других обобщениях, предназначались только для корректировки среднего многолетнего количества осадков. Вариант методики, предложенной ГГИ, был рекомендован для использования при расчете оперативных месячных водных балансов речных бассейнов [5, 7, 23, 24]. Для корректировки среднего многолетнего месячного количества осадков, по данным измерений в метелевых районах, был предложен вариант методики, разработанный в ААНИИ [6, 38]. При разработке каждого из вариантов методики эталонные данные об осадках получались разными способами и с разной степенью приближенности, так как достаточно надежного эталона сравнения при измерении твердых осадков в то время не существовало, следовательно, было невозможно оценить погрешности эталонных данных.

Попытка использования разработанных методик для корректировки осадков, измеряемых в режиме текущих наблюдений (за отдельные сроки измерений, сутки, декаду и т. п.), предпринятая на массовой сети станций гидрометслужбы в начале 1970-х годов, потерпела неудачу по двум причинам. Во-первых, несмотря на максимально возможные упрощения необходимых расчетов, методика корректировки оставалась слишком громоздкой и трудоемкой для наблюдателя. Во-вторых, упрощение схемы расчетов неизбежно приводило к увеличению случайной погрешности определения исправленного количества осадков. В результате было принято решение о введении в текущие данные об осадках поправки, компенсирующей только одну из систематических погрешностей, а именно — потери осадков при смачивании внутренней поверхности осадкомерного сосуда. Эта поправка на смачивание вводится с 1 января 1966 г. и по настоящее время на всех осадкомерных пунктах Росгидромета в соответствии с действующими наставлениями. Все остальные систематические погрешности до настоящего времени остаются не учтенными в текущих наблюдениях за осадками.

Поскольку значения этих погрешностей особенно велики для твердых осадков, начиная с 1985 г. и по 1996 г. по инициативе Комиссии по приборам и методам ВМО при активном участии ГГИ проводились международные сравнения осадкомеров, измеряющих твердые осадки. После их завершения появилась возможность получения вполне достоверных данных о количестве осадков, в том числе твердых [49]. Главным достижением проведенных экспериментальных исследований стала достаточно корректная оценка ветрового недоучета для основных типов стандартных национальных осадкомеров в сравнении (непосредственном или через посредство



промежуточных эталонов) с наиболее надежным эталонным измерителем осадков — Валдайской контрольной системой (ВКС). ВКС представляет собой комплекс осадкомеров с разной ветровой защитой, установленных на Валдайском осадкомерном полигоне среди обширного кустарника, систематически подрезаемого в уровень с приемной поверхностью осадкомеров. Надежность и достоверность показаний ВКС проверена многолетними результатами разносторонних полевых испытаний и оригинальной методикой объективной оценки точности применяемых средств измерения [16, 49]. В качестве промежуточных эталонных приборов в пунктах проведения международных сравнений использовались стандартный российский осадкомер Третьякова и такой же осадкомер, окруженный двойным штaketным забором специальной конструкции [9, 12, 44]. Ход и результаты международных сравнений осадкомеров постоянно освещались и обсуждались в соответствующих изданиях ВМО и другой специальной литературе, где имеется обширная библиография по исследуемой проблеме [49].

К настоящему времени разработано несколько вариантов методики корректировки измеренных осадков (для количества осадков за отдельные сутки или более короткие периоды измерений — 12 или 6 ч), предназначенных для осадкомеров разных национальных конструкций и адаптированных к национальным особенностям методов эксплуатации осадкомеров и получения исходных параметров, необходимых для расчета погрешностей. В частности, для осадкомера Третьякова предложены 3 варианта методики: методика Международного организационного комитета (МОК) ВМО [49, 54], методика группы специалистов из северных стран Европы [43] и методика В. С. Голубева, разработанная в России [49]. Сравнение качества результатов корректировки, полученных с применением каждой из этих методик, с данными ВКС показало, что они примерно равноценны по величине рассчитанных систематических погрешностей в том диапазоне скоростей ветра и температуры воздуха, который характерен для климата Валдая [15]. Однако по условиям применения методики МОК ВМО [49] корректировочные уравнения для определения ветрового недоучета твердых осадков рекомендуется использовать лишь для скоростей ветра на высоте осадкомера менее  $6,5 \text{ м/с}$  и в отсутствие метелей. Для решения вопроса о том, как корректировать твердые осадки, измеренные осадкомером Третьякова, при более сильных ветрах и при наличии метелей, МОК ВМО не предлагает конкретных мер и лишь рекомендует продолжать соответствующие исследования.

Тем не менее, в последние годы широко публикуются результаты применения методики МОК ВМО в разных регионах, главным образом там, где значительное количество осадков выпадает в виде снега и при сильных ветрах. Хорошо известно, что в таких условиях результаты измерения осадков наименее достоверны и нуждаются в корректировке в первую очередь [33, 37, 38, 45—47]. Именно поэтому внимание исследователей привлекли Аляска [53], Гренландия [52], Шпицберген [42], Сибирь и арктические районы России [51], а также дрейфующие станции на акватории Северного Ледовитого океана [50]. Во всех этих исследованиях принимались во внимание лишь три вида систематических погрешностей измере-

ния осадков: ветровой недоучет, потери при смачивании внутренней поверхности осадкосборника и потери осадков в тех случаях, когда их измеренное количество составляет менее половины деления измерительного средства (мерного стакана или линейки). Это количество отмечается как 0,0 или “следы” и при дальнейшем суммировании не учитывается. Величина ветрового коэффициента ограничивалась значением, соответствующим скорости ветра на высоте осадкомера, равной 6,5 м/с, и принималась равной этому значению при всех скоростях ветра более 6,5 м/с [50, 51].

Полученные в работах [50, 51] результаты показали настолько значительное увеличение исправленных осадков в Арктике по сравнению с измеренными, что это вызывает сомнение в их достоверности с точки зрения климатологии. Например, трудно представить, чтобы столь значительное количество осадков выпадало на дрейфующих станциях на акватории Северного Ледовитого океана или на арктическом побережье Сибири в условиях устойчивого антициклонального режима при очень низких температурах воздуха и соответственно малого его влагосодержания в течение большей части года. Основной причиной этого увеличения, очевидно, является тот факт, что в процессе корректировки не принимались во внимание “ложные” осадки.

Необходимость учета влияния “ложных” осадков в условиях интенсивной метелевой деятельности отмечалась еще в работах [6, 33, 37, 38], где уже тогда оценивалась величина этой погрешности в зависимости от скорости ветра и продолжительности метели, а также предлагались способы ее учета в средних многолетних суммах осадков.

В последние годы в работах [45, 46] были несколько уточнены формулы, предложенные ранее Л. Р. Струзером [33] для определения интенсивности надувания “ложных” осадков в осадкомер Третьякова. На примере корректировки суточных сумм осадков за период от 3 до 8 лет на станциях, расположенных в разных климатических условиях (от арктического побережья до степных районов Заволжья и Башкирии), в работе [46] показано, что если не учитывать количество “ложных” осадков, попадающих в осадкомер, то исправленное их количество оказывается неправомерно завышенным.

## **2. Полная модель корректировки осадков, измеренных осадкомером Третьякова**

В основу методики корректировки суточных сумм измеренных осадков положена модель, разработанная В. С. Голубевым. Ее научное обоснование содержится в работах [10, 16, 45, 46], а комплекс алгоритмов необходимых расчетов представлен в работе [14]. Численные параметры всех приводимых ниже зависимостей получены экспериментально при сравнении показаний осадкомера Третьякова с данными ВКС, а также на основе обобщения многочисленных исследований характеристик снегопереноса во время метелей [17, 19]. Модель позволяет оценить действительное количество осадков, поступивших из облаков на поверхность земли в пункте наблюдений, путем учета систематических погрешностей, вызванных аэродинамическими свойствами осадкомера, процессами испарения, конденсации и смачивания в осадкосборнике, а также количество “ложных” осадков, попадающих в прибор во время общей и низовой метелей.



Вычисление действительного количества осадков выполняется по формуле

$$P = K(P'' + \Delta P - P''_{f1} - P''_{f2}), \quad (1)$$

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 принимается  $P'' = 0$  мм);  $\Delta P$  — поправка, компенсирующая эффект воздействия процессов испарения, конденсации и смачивания внутренней поверхности осадкомера при каждом измерении осадков, в том числе при  $P'' = 0$  мм;  $P''_{f1}$  и  $P''_{f2}$  — поправки, учитывающие количество “ложных” осадков, попавших в осадкомер соответственно за время общей и нижней метели.

### 2.1. Расчет аэродинамического коэффициента

Коэффициент  $K$  рассчитывается по формуле

$$K = 1 + A_0 \mu^2 U_h^2, \quad (2)$$

где  $A_0$  — эмпирический параметр, зависящий от структуры частиц выпадающих осадков, их аэродинамической крупности и равновесной скорости падения;  $\mu$  — коэффициент перехода от значений плотности воздуха при стандартных параметрах атмосферы к плотности при реальных условиях;  $U_h$  — скорость ветра во время выпадения осадков на высоте приемной поверхности осадкомера. Значения  $A_0$  для разных видов осадков и при разной температуре воздуха во время их выпадения ( $T_a$ ) по [9] следующие:

Вид осадков	Снег	Снег и морось	Смешанные осадки (дождь и снег), морось	Дождь, морось и дождь	
$T_a, ^\circ\text{C}$				$\leq 2$	$> 2$
$A_0$	0,033	0,025	0,017	0,008	0,004

Коэффициент  $\mu$  вычисляется по формуле

$$\mu = 0,273 p_a^2 / ((273 + t_a)(p_a + 0,4e_a)), \quad (3)$$

где  $p_a$  — атмосферное давление на станции, гПа;  $e_a$  — парциальное давление водяного пара, гПа.

Скорость ветра  $U_h$  на высоте приемного отверстия осадкомера ( $h$ ) вычисляется по формуле

$$U_h = U_H m(A) \ln \frac{h - h_s}{z_0} / \ln \frac{H - h_s}{z_0}, \quad (4)$$

где  $U_H$  — скорость ветра во время осадков на высоте стандартного ветроизмерительного прибора, м/с;  $m(A)$  — коэффициент, характеризующий искажение логарифмического профиля ветра под влиянием разного рода препятствий, окружающих осадкомер;  $H$  — высота установки ветроизмери-

тельного прибора,  $m$ ;  $h_s$  — высота снежного покрова в пункте наблюдений,  $m$ ;  $z_0$  — параметр шероховатости подстилающей поверхности в окружении установки осадкомера (при сплошном снежном покрове  $z_0 = 0,01$  м, при травяном покрове и пестром ландшафте, когда снегом покрыто менее половины окружающих окрестностей,  $z_0 = 0,03$  м).

Коэффициент  $m(A)$  рассчитывается по формуле

$$m(A) = 1 - 0,024\alpha(A), \quad (5)$$

где  $\alpha(A)$  — вертикальный угол закрытости горизонта в месте установки осадкомера в направлении ветра ( $A$ , град).

## 2.2. Расчет поправки на смачивание, испарение, конденсацию и следы осадков

Для оценки величины  $\Delta P$ , учитывающей эффект воздействия процессов испарения, конденсации и смачивания внутренней поверхности осадкомера, а также следы осадков, в [15] применен новый нетрадиционный подход, при котором рассматривается общий результат взаимодействия всех этих процессов. Величина  $\Delta P$  оценивается как разность между показаниями ВКС и откорректированными на ветровой недоучет показаниями осадкомера Третьякова. При анализе этой разности для полусуточного количества измеренных осадков разных видов выявлена ее зависимость от недостатка насыщения  $(100 - r)\%$  ( $r$  — относительная влажность воздуха). Средние значения  $\Delta P$  для жидких, смешанных и твердых осадков в расчете на один случай измерения при разных значениях недостатка насыщения представлены в табл. 1 и на рис. 1 [15].

На рис. 1 видно, что при наиболее часто встречающихся в дни с осадками значениях  $r$  в диапазоне от 80 до 90% значения  $\Delta P$  весьма близки к используемым на практике поправкам на смачивание: 0,1 мм для твердых и 0,2 мм для жидких осадков. Однако для смешанных осадков значения  $\Delta P$  оказались существенно иными, близкими к 0,0 мм, а при  $r > 90\%$  даже отрицательными не только для смешанных, но и для твердых осадков. Кривые на рис. 1 соответствуют экспериментальным значениям из табл. 1. С целью дальнейшего использования они описаны приводимыми ниже сглаженными аппроксимирующими формулами для каждого вида осадков. По-

Таблица 1

Значения  $\Delta P$  (мм) для полусуточных сумм осадков при разных значениях недостатка насыщения  $(100 - r)$  (%) в дни с осадками (по данным [15])

Жидкие осадки		Смешанные осадки		Твердые осадки	
$(100 - r)$	$\Delta P$	$(100 - r)$	$\Delta P$	$(100 - r)$	$\Delta P$
33,0	0,240	24,8	0,038	26,4	0,166
20,0	0,203	13,1	0,005	18,3	0,144
14,2	0,231	10,0	-0,076	14,8	0,111
9,9	0,157	7,8	-0,196	12,3	0,073
6,8	0,125	5,6	-0,150	9,6	0,087
3,4	0,096	3,7	-0,410	5,8	-0,196

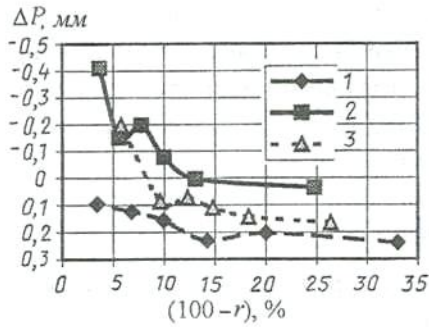


Рис. 1. Зависимость суммарной погрешности  $\Delta P$  от недостатка насыщения  $(100-r)$  в дни с осадками для полусуточных сумм жидких (1), смешанных (2) и твердых осадков (3).

— при выпадении жидких осадков

$$\Delta P = 0,069 \ln(100 - r) + 0,009 \text{ при } r < 95\%,$$

$$\Delta P = 0,1 \text{ при } r \geq 95\%; \quad (6)$$

— при выпадении твердых осадков

$$\Delta P = 0,097 \ln(100 - r) - 0,150 \text{ при } r < 95\%,$$

$$\Delta P = -0,2 \text{ при } r \geq 95\%; \quad (7)$$

— при выпадении смешанных осадков

$$\Delta P = 0,158 \ln(100 - r) - 0,449 \text{ при } r < 95\%,$$

$$\Delta P = -0,2 \text{ при } r \geq 95\%. \quad (8)$$

### 2.3. Расчет количества “ложных” осадков

Количество “ложных” осадков определяется как произведение их интенсивности  $J_f$  на продолжительность метели  $\tau_f$ .

Уравнения для определения интенсивности “ложных” осадков, попадающих в осадкомер Третьякова, были получены Л. Р. Струзером [33] на основе формулы В. М. Котлякова, описывающей эмпирическую зависимость интегрального снегопереноса во время метелей от скорости ветра на высоте 2 м над поверхностью снежного покрова, вида метели и состояния снежного покрова. Параметры формулы Котлякова определяют численные коэффициенты в приводимых ниже формулах для расчета интенсивности “ложных” осадков. Краткое описание вывода этих формул приведено в [46]. Формулы Струзера были позднее уточнены В. С. Голубевым [8] путем введения коэффициентов, учитывающих отличие реальной высоты осадкомера над поверхностью снежного покрова от 2 м, а также степень

скольку при относительной влажности  $>95\%$  статистическая обеспеченность полученной зависимости очень мала и фактические значения  $r$  не выходят за предел 97%, экстраполяция аппроксимирующих уравнений за пределы  $r$  более 95% не производится и значения  $\Delta P$  в области  $r \geq 95\%$  принимаются равными соответствующим значениям на рис. 1 при  $r = 95\%$ .

В результате величина поправки  $\Delta P$  (мм), учитывающей погрешность измерения осадков в результате сачивания, испарения, конденсации и следов осадков, рассчитывается в зависимости от вида осадков и относительной влажности воздуха в день с осадками ( $r$ , %) по формулам



насыщенности снеговетрового потока метелевыми частицами в зависимости от длины разгона метели.

Ниже приводятся схемы расчета интенсивности и количества “ложных” осадков при разных условиях погоды и состояния поверхности снежного покрова в категориях формулы Котлякова [15]: низовая метель, общая метель, свежевывающий снег, лежалый снег, уплотненный ветровой наст.

Количество “ложных” осадков, попавших в осадкомер за время общей метели ( $P_{л}''$ ), вычисляется по формуле

$$P_{л}'' = J_{л} \tau_{л}, \quad (9)$$

где  $J_{л}$  — средняя интенсивность “ложных” осадков во время общей метели, мм/ч;  $\tau_{л}$  — продолжительность общей метели, ч.

Интенсивность “ложных” осадков ( $J_{л}$ ) при общей метели вычисляется по формуле

$$J_{л} = 0,033(U_2^{2,2} - 4,2^{2,2}) \frac{B_h L_{л}}{K_{л} U_2},$$

$$J_{л} = 0 \text{ при } U_2 \leq 4,2 \text{ м/с}, \quad (10)$$

где  $U_2$  — скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью снежного покрова, рассчитывается по (4), в которой принимается  $(h - h_s) = 2$  м.

Коэффициент  $K_{л}$  характеризует ветровой недоучет частиц “ложных” осадков при общей метели и вычисляется по формуле

$$K_{л} = 1 + 0,0215 \mu^2 U_h^2 \text{ при } T_a \geq -7,0^\circ\text{C},$$

$$K_{л} = 1 + 0,033 \mu^2 U_h^2 \text{ при } T_a < -7,0^\circ\text{C}. \quad (11)$$

Численные коэффициенты в (11) соответствуют структуре свежевывающего снега при разной температуре воздуха. Значения  $\mu$  и  $U_h$  рассчитываются по (3) и (4) соответственно.

Коэффициент  $B_h$ , учитывающий отличие реальной высоты осадкомера над поверхностью снежного покрова от высоты 2 м, вычисляется по формуле

$$B_h = \frac{2}{h - h_s} \ln \frac{2}{z_0} \bigg/ \ln \frac{h - h_s}{z_0}. \quad (12)$$

Коэффициент  $L_{л}$ , учитывающий степень насыщенности метелевого потока, вычисляется по формуле

$$L_{л} = \text{th}(2 \cdot 10^{-3} l(A)) \text{ при } T_a \geq -7,0^\circ\text{C},$$

$$L_{л} = \text{th}(3 \cdot 10^{-3} l(A)) \text{ при } T_a < -7,0^\circ\text{C}, \quad (13)$$

где  $l$  — расстояние от осадкомера до границы снегосборного бассейна в данном направлении ветра ( $A$ ) (длина разгона метели);  $\text{th}$  — гиперболический тангенс.



Количество “ложных” осадков, попавших в осадкомер за время низовой метели  $P''_{f_2}$ , вычисляется по формуле

$$P''_{f_2} = J_{f_2} \tau_{f_2}. \quad (14)$$

Здесь  $J_{f_2}$  — средняя интенсивность “ложных” осадков во время низовой метели, мм/ч;  $\tau_{f_2}$  — продолжительность низовой метели, ч.

Интенсивность “ложных” осадков при низовой метели вычисляется по одной из трех формул, соответствующих состоянию снежного покрова перед началом низовой метели. Выбор формулы производится, сообразуясь с последовательностью фиксации наблюдателем времени снегопада, общей метели, низовой метели и поземка.

Если низовая метель отмечается после снегопада или общей метели, когда “ложные” осадки образуются из свежавыпавшего снега, величина  $J_{f_2}$  рассчитывается по формулам

$$J_{f_2} = 0,016(U_2^{2,8} - 4,2^{2,8}) \frac{B_h L_{f_2}}{K_{f_2} U_2},$$

$$J_{f_2} = 0 \text{ при } U_2 \leq 4,2 \text{ м/с}; \quad (15)$$

$L_{f_2}$  вычисляется по формуле (13);

$$K_{f_2} = 1 + 0,0215 \mu^2 U_h^2 \text{ при } T_a \geq -7,0^\circ\text{C},$$

$$K_{f_2} = 1 + 0,01 \mu^2 U_h^2 \text{ при } T_a < -7,0^\circ\text{C}.$$

Если низовая метель отмечается после поземка, когда поверхность снега уже уплотнена под воздействием ветра,  $J_{f_2}$  рассчитывается по формулам

$$J_{f_2} = 3,08 \cdot 10^{-4} (U_2^4 - 6^4) \frac{B_h L_{f_2}}{K_{f_2} U_2},$$

$$J_{f_2} = 0 \text{ при } U_2 \leq 6 \text{ м/с}; \quad (16)$$

$$L_{f_2} = \text{th}(2 \cdot 10^{-3} l(A)); K_{f_2} = 1 + 0,01 \mu^2 U_h^2.$$

Во всех остальных случаях  $J_{f_2}$  рассчитывается по формулам

$$J_{f_2} = 8,9 \cdot 10^{-6} (U_2^{5,1} - 8,5^{5,1}) \frac{B_h L_{f_2}}{K_{f_2} U_2},$$

$$J_{f_2} = 0 \text{ при } U_2 \leq 8,5 \text{ м/с}; \quad (17)$$

$$L_{f_2} = \text{th}(10^{-3} l(A)); K_{f_2} \text{ — вычисляется по формуле (16).}$$

Если в (1) выражение  $(P'' + \Delta P - P''_{f_1} - P''_{f_2}) < 0$ , то скорректированное количество осадков  $P$  считается равным 0.

На основании описанной методики была составлена программа корректировки срочных измерений осадков и проведены ее испытания на матери-

але нескольких станций северо-западного региона России, ее арктического побережья и Камчатки. В результате оказалось, что в климатических условиях северо-западного региона, где в исследуемый период скорость ветра во время метелей практически не превышала 8—9 м/с, разработанная методика и программа корректировки надежно применимы. Все рассчитанные значения поправок вполне адекватно отражают влияние соответствующих метеорологических параметров и условий защищенности установки осадкомера.

При попытке применить предложенную модель корректировки в условиях арктического побережья возникли трудности, связанные с неопределенностью или отсутствием исходных параметров, необходимых для расчета “ложных” осадков по формулам (10) и (15)—(17). К их числу относятся вид метели и состояние поверхности снежного покрова. При сильных ветрах и интенсивной дефляции различие между низовой и общей метелью часто становится весьма приблизительным. Кроме того, во время сильной метели практически невозможно определить, выпадает ли снег из облаков, или поднят с поверхности снежного покрова в процессе дефляции, либо присутствуют оба процесса одновременно.

Характеристика состояния снежного покрова, от которого сильно зависят интенсивность дефляции и структура дефляционных частиц, также практически не отражается в материалах стандартных метеорологических наблюдений. Определять эту характеристику приходится по косвенным данным в значительной мере приближенно. Все это приводит к существенным случайным ошибкам в определении интенсивности “ложных” осадков.

Кроме того, согласно формулам (10) и (15) и рис. 4 и 5 из [38], при скоростях ветра порядка 9—10 м/с интенсивность “ложных” осадков становится соизмеримой со средней интенсивностью осадков, выпадающих из облаков. Если учесть, что из-за аэродинамической погрешности (формула (2)) при этих ветрах осадкомер улавливает лишь около 30% выпадающих осадков, то это означает, что количество “ложных” осадков в осадкомере может втрое превышать уловленное осадкомером количество осадков из облаков.

Все эти факторы приводят к неопределенности результатов корректировки твердых осадков за отдельные сроки или сутки при скорости ветра  $> 10$  м/с и интенсивных метелях.

Для решения этой проблемы был использован подход, предложенный и обоснованный еще Л. Р. Струзером и Н. Н. Брызгиным в [38]. Основная его идея состояла в том, что действительная интенсивность выпадающих осадков во время метелей на полярных станциях меняется мало и может считаться величиной постоянной, близкой к средней многолетней месячной интенсивности осадков в данных климатических условиях ( $\bar{J}_{ос}$ , мм/ч). Этот вывод был получен в результате расчета интенсивности отдельных снегопадов на 22 арктических станциях за 12-летний период (1955—1966 гг.) по данным ежедневных наблюдений.

Умножив значения  $\bar{J}_{ос}$  на фактическую продолжительность осадков с метелью  $\tau_{ос}$ , получаем действительное количество осадков за выбранный



период наблюдений. Средние многолетние месячные значения  $\bar{J}_{\text{ос}}$  для каждой конкретной станции получаются по формуле

$$\bar{J}_{\text{ос}} = \frac{1}{N} \sum_N \left( \frac{\sum_n P}{\sum_n \tau_{\text{ос}}} \right). \quad (18)$$

Здесь  $P$  — скорректированное по полной модели суточное количество осадков, мм;  $n$  — число дней с осадками за месяц;  $N$  — число лет осреднения. При расчете  $\bar{J}_{\text{ос}}$  учитываются только те случаи, когда средняя скорость ветра на высоте ветроизмерительного прибора не превышает 10 м/с.

Соответственно, алгоритм программы корректировки был дополнен условием, что во всех случаях, когда во время метелей  $U_H > 10$  м/с, исправленное количество осадков рассчитывается по формуле

$$P = \bar{J}_{\text{ос}} \tau_{\text{ос}}. \quad (19)$$

Измеренные осадки в таких случаях не принимаются во внимание.

### 3. Корректировка суточных сумм измеренных осадков за многолетний период

#### 3.1. Исходные данные

Корректировка суточных сумм измеренных осадков была проведена на основании усовершенствованного алгоритма по данным 16 станций, расположенных в полярных широтах России от Мурманска до м. Шмидта (рис. 2), за период от начала наблюдений по осадкомеру Третьякова на каждой из станций (1953—1956 гг.) по 1990 г.

В качестве основного источника исходных данных о количестве измеренных осадков и о значениях расчетных метеорологических параметров корректировки использован CD-архив 4-срочных (до 1966 г.) и 8-срочных (начиная с 1 января 1966 г. и по 1990 г.) метеорологических наблюдений [27]. Отсутствующие в данном архиве сведения о суточной продолжительности метелей выбирались из Метеорологических ежемесячников, часть 1 [21] (за период с 1962 по 1990 г.) и непосредственно из архива месячных таблиц ТМС (за период до 1962 г.). Суточные значения высоты снежного покрова на метеорологической площадке определялись интерполяцией декадных значений, взятых из Справочника по климату СССР [29] (до 1966 г.) и из Метеорологических ежемесячников, часть 2 [22] (с 1966 по 1990 г.).

Для определения параметров защищенности метеорологических площадок  $m$  и  $l$ , характеризующих искажение логарифмического профиля ветра над площадкой и длину разгона метели по 16 румбам окружности горизонта станций, использовались данные из Климатологического справочника СССР [18], содержащего сведения о топографии, ландшафте, ближайшем окружении метеоплощадки, датах переноса станции, графики вертикальных углов закрытости горизонта, характеристики препятствий, окружающих площадку, и расстояния до препятствий. Кроме того, использовались сведения из технических дел станций, хранящихся в архивах ААНИИ, в

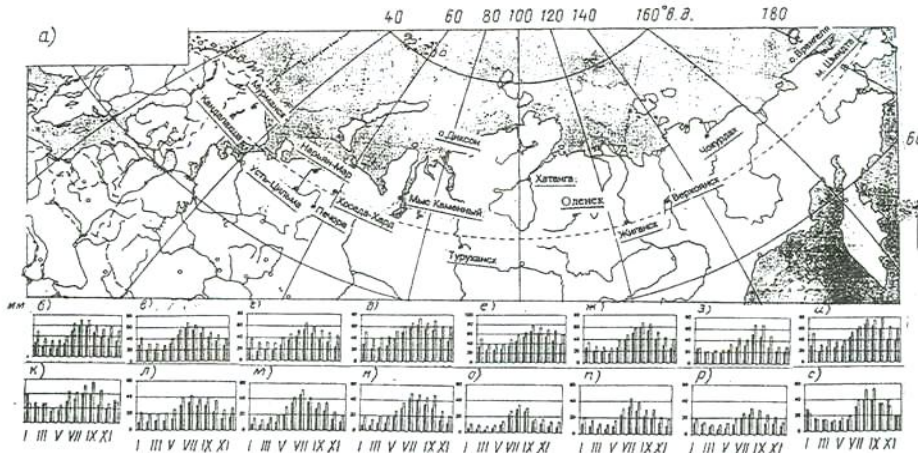


Рис. 2. Географическое положение станций (а) и годовой ход измеренных (темный столбец) и исправленных (светлый столбец) осадков (мм) на станциях Мурманск (б), Канда-лакша (в), Нарьян-Мар (з), Усть-Цильма (д), Печора (е), Хоседа-Хард (жс), м. Каменный (з), Туруханск (и), о. Диксон (к), Хатанга (л), Оленок (м), Жиганск (н), Верхоянск (о), Чокурдах (л), о. Врангеля (р) и м. Шмидта (с).

которых имеются также планы ближайшего окружения метеоплощадок в радиусе 300—400 м.

### 3.2. Определение отсутствующих данных

**Измеренное количество осадков.** Количество осадков за каждый срок измерений  $P''$  содержится в используемой базе данных [27] лишь до 1966 г. Начиная с 1 января 1966 г. в количество осадков за каждый срок измерения вводилась поправка на смачивание, причем в течение всего 1966 г. эта поправка равнялась 0,2 мм независимо от их вида и количества, а начиная с 1 января 1967 г. методика учета и величина поправки на смачивание были существенно изменены и до настоящего времени остаются постоянными и соответствующими действующему Наставлению [26]. Следовательно, для получения измеренного количества осадков за каждый срок, начиная с 1 января 1966 г., из соответствующего количества осадков, содержащегося в использованном архиве [27], потребовалось вычесть величину поправки на смачивание.

**Продолжительность осадков.** Продолжительность осадков за месяц (для определения средней месячной интенсивности осадков по формуле (18)) рассчитывалась в зависимости от месячной повторяемости кодовых значений осадкообразующих явлений в текущей погоде. Это соотношение, известное как формула Кеппена [4, 20], широко используется в практике климатологических расчетов для косвенного определения средней многолетней месячной продолжительности осадков. Формула имеет вид

$$\tau_{ос} = TQ/M, \quad (20)$$



где  $\tau_{oc}$  — продолжительность осадков за месяц, ч;  $T$  — число часов в месяце;  $Q$  — число сроков наблюдений с выпадением осадков за месяц;  $M$  — общее число сроков метеорологических наблюдений за тот же месяц.

В соответствии с законами случайных чисел при достаточной статистической обеспеченности должно соблюдаться равенство  $T/M = \tau_{oc}/Q$ , т. е. при 8-срочных наблюдениях всегда должно быть  $\tau_{oc} = 3Q$ , а при 4-срочных  $\tau_{oc} = 6Q$ . Теоретически различия между фактическими и рассчитанными по формуле (20) значениями  $\tau_{oc}$  должны иметь лишь случайный характер, обусловленный случайной погрешностью определения фактической продолжительности осадков. Для оценки величины этих различий, т. е. погрешности определения  $\tau_{oc}$  по (20), было проведено сопоставление месячных значений  $\tau_{oc}$ , рассчитанных по (20), и значений  $\tau_{oc,ф}$ , полученных по результатам визуальных наблюдений, взятых из [22] за 10-летний период (с 1971 по 1980 г. — 8-срочные наблюдения) на 4 станциях из числа рассматриваемых в данной работе. Практически для каждого месяца года рассчитывались значения  $\tau_{oc,ф}/Q$  и затем за весь период определялось среднее квадратическое отклонение этой величины от значения  $T/M = 3$  (при 8-срочных наблюдениях). В табл. 2 приведены результаты проведенных сравнений.

Как видно из данных табл. 2, значения  $(\overline{\tau_{oc,ф}/Q})$  на всех станциях очень близки к 3, а коэффициент вариации ( $C_v$ ) за отдельные месяцы составляет всего 9—13%. Следовательно, систематическое различие между рассчитанными  $\tau_{oc}$  и фактическими практически отсутствует, а случайная погрешность определения  $\tau_{oc}$  по (20) в данных условиях составляет 9—13% от фактической месячной продолжительности осадков.

Расчет месячной продолжительности осадков по формуле (20) возможен лишь при наличии сведений о текущей погоде, т. е. о месячной повторяемости осадков. При отсутствии этих данных может быть использована связь между продолжительностью осадков, с одной стороны, и числом дней с осадками, температурой и влажностью — с другой, которая была установлена в [4].

Для наших целей, когда требуется определить не среднюю многолетнюю продолжительность осадков, а ее величину за конкретный месяц, эта формула была несколько преобразована и приняла вид

Таблица 2

Статистические характеристики связи фактической продолжительности осадков между двумя сроками наблюдений  $(\overline{\tau_{oc,ф}/Q})$  с  $T/M = 3$  (при 8 сроках наблюдений в сутки)

Станция	Число месяцев	$(\overline{\tau_{oc,ф}/Q}), ч$	$\sigma_{\tau}/Q, ч$	$C_v, \%$
Мурманск	105	2,96	0,32	11
Нарьян-Мар	118	2,95	0,26	9
Туруханск	116	2,98	0,35	12
Верхоянск	115	3,06	0,40	13

$$\tau_{oc} = D^{1.5} e^{2.10^{a+bT}}, \quad (21)$$

где  $\tau_{oc}$  — продолжительность выпадения осадков за конкретный месяц, ч;  $D$  — общее число дней с осадками за тот же месяц, включая и дни со следами осадков;  $e$  и  $T$  — соответственно парциальное давление водяного пара ( $зПа$ ) и температура воздуха ( $^{\circ}C$ ), осредненные за дни с осадками в данном месяце;  $a$  и  $b$  — постоянные, определяемые для каждой станции из сравнения фактических и рассчитанных по (21) месячных значений продолжительности осадков.

Определение коэффициентов  $a$  и  $b$  для всех 16 станций было произведено за период с 1966 по 1990 г. по данным CD-архива [27]. В качестве фактических месячных значений  $\tau_{oc}$  использовались значения, рассчитанные по (20). В табл. 3 приведены полученные значения  $a$  и  $b$  для каждой станции, их средние значения ( $a = -1,11$ ;  $b = -0,07$ ), а также статистические характеристики связи между значениями месячной продолжительности осадков, рассчитанными по формулам (20) и (21): коэффициенты корреляции  $R$ , средние квадратические отклонения значений  $\tau_{oc}$  от линии регрессии, рассчитанные по формуле  $S_r = \sigma_r \sqrt{1 - R^2}$ , средние значения  $\bar{\tau}_{oc}$  по всему массиву данных и коэффициент вариации, рассчитанный из соотношения  $C_v = S_r / \bar{\tau}_{oc}$ .

Сравнивая значения  $C_v$  в табл. 2 и 3, видим, что определение месячных значений  $\tau_{oc}$  по (21) существенно менее точно, чем по (20). Однако формула (21) дает возможность использовать архивы суточных и даже месячных данных, не имея сведений о данных за отдельные сроки наблюдений.

Таблица 3

Эмпирические параметры ( $a$  и  $b$ ) и статистические характеристики связи между фактической и рассчитанной месячной продолжительностью осадков

Станция	Число месяцев	$a$	$b$	$R \pm \sigma_R$	$S_r$	$\bar{\tau}_{oc}, ч$	$C_v, \%$
Мурманск	299	-1,132	-0,060	0,78 ± 0,02	39,8	208	19
Кандалакша	299	-1,176	-0,062	0,86 ± 0,02	39,3	157	25
Нарьян-Мар	287	-1,195	-0,063	0,82 ± 0,02	45,8	222	21
Усть-Цильма	299	-1,164	-0,062	0,86 ± 0,02	44,3	194	23
Печора	300	-1,089	-0,063	0,88 ± 0,01	57,6	241	24
Хоседа-Хард	300	-1,207	-0,062	0,84 ± 0,02	46,3	192	24
м. Каменный	300	-1,262	-0,071	0,83 ± 0,02	41,9	186	23
о. Диксон	300	-1,253	-0,074	0,80 ± 0,02	58,2	261	22
Туруханск	300	-0,975	-0,066	0,90 ± 0,01	78,8	320	25
Хатанга	300	-1,084	-0,068	0,86 ± 0,02	45,5	205	22
Оленек	288	-1,973	-0,065	0,65 ± 0,03	86,2	212	41
Жиганск	294	-0,965	-0,070	0,87 ± 0,01	50,9	158	32
Верхоянск	300	-0,903	-0,069	0,77 ± 0,02	51,0	116	44
Чокурдах	300	-1,105	-0,072	0,82 ± 0,02	49,0	185	26
о. Врангеля	300	-1,252	-0,080	0,77 ± 0,02	42,7	142	30
м. Шмидта	299	-1,194	-0,076	0,82 ± 0,02	57,5	229	25
Среднее		-1,110	-0,070	0,86 ± 0,02			



**Продолжительность метелей.** Для расчета количества “ложных” осадков по (9) и (14) необходимы данные о суточной продолжительности общей и низовой метелей. Такие данные отсутствуют в CD-архиве [27] и, как сказано выше, они дополнительно выбирались из ежемесячников [21] и из архивов таблиц ТМС. В случае отсутствия этих источников в доступных архивах или пропусков наблюдений над данной характеристикой в архивных таблицах общая продолжительность метелей за сутки определялась по ее связи со средней суточной скоростью ветра в день с метелью. Такая связь была определена для каждой из 16 станций за период с 1966 по 1990 г. по данным о ветре из CD-архива [27] и о суточной продолжительности метелей из ежемесячников [21].

Полученные линейные зависимости описываются формулой

$$\tau_f = c\bar{U}_H + d, \tag{22}$$

где  $\tau_f$  — суммарная продолжительность метелей за сутки, ч;  $\bar{U}_H$  — средняя суточная скорость ветра на высоте ветроизмерительного прибора, м/с;  $c$  и  $d$  — параметры уравнения регрессии. При этом очевидно, что значение  $\tau_f$  реально не может быть  $< 0$  и  $> 24$  ч.

В табл. 4 приведены рассчитанные значения  $c$  и  $d$  для каждой из 15 станций, а также статистические характеристики связи между суммарной суточной продолжительностью метелей  $\tau_f$  и средней суточной скоростью ветра  $\bar{U}_H$  в день с метелью. По данным станции Верхоянск расчеты не производились из-за слабых ветров и незначительного числа дней с метелью.

Таблица 4

Эмпирические параметры ( $c$  и  $d$ ) и статистические характеристики связи между суточной продолжительностью метелей  $\tau_f$  и средней суточной скоростью ветра  $\bar{U}_H$

Станция	$c$	$d$	$R_{\tau,U} \pm \sigma_R$	$S_r$	$\bar{\tau}_f, \text{ч}$	$C_v, \%$
Мурманск	0,91	0,0	$0,44 \pm 0,05$	4,11	6,37	65
Кандалакша	1,59	-2,1	$0,59 \pm 0,05$	3,44	5,80	59
Нарьян-Мар	1,52	-5,0	$0,62 \pm 0,045$	4,08	6,67	61
Усть-Цильма	1,34	-1,7	$0,48 \pm 0,04$	3,94	6,20	64
Печора	2,16	-3,7	$0,58 \pm 0,04$	4,67	8,39	56
Хоседа-Хард	1,43	-1,6	$0,64 \pm 0,03$	4,70	8,80	53
м. Каменный	1,89	-6,6	$0,75 \pm 0,02$	4,24	9,62	44
о. Диксон	1,99	-8,9	$0,82 \pm 0,05$	3,90	10,90	36
Туруханск	2,93	-6,5	$0,64 \pm 0,03$	4,64	8,80	53
Хатанга	2,03	-6,3	$0,62 \pm 0,06$	4,77	8,30	57
Оленек	0,81	1,1	$0,27 \pm 0,11$	3,66	4,90	75
Жиганск	1,76	-3,8	$0,75 \pm 0,04$	3,68	8,00	46
Чокурдах	2,13	-7,6	$0,75 \pm 0,04$	3,84	8,50	45
о. Врангеля	1,38	-1,9	$0,81 \pm 0,02$	3,71	9,33	40
м. Шмидта	1,78	-4,4	$0,78 \pm 0,025$	3,96	9,90	40
Среднее	1,61	-3,75	—	—	—	—

*Примечание.* Данные станции Туруханск при осреднении не учитывались из-за специфических условий защищенности метеоплощадки, существенно менявшихся в течение рассматриваемого периода наблюдений.

Как свидетельствуют данные табл. 4, определение суточных значений  $\tau_f$  по (22) осуществляется с весьма значительной случайной погрешностью, что соответственно сказывается на точности расчета “ложных” осадков за отдельные сутки. Однако нужно принимать во внимание, что уже при месячном суммировании величина этой случайной погрешности существенно уменьшается.

**Продолжительность общей и низовой метели.** В соответствии с описанной в пункте 2.3 методикой расчета суточного количества “ложных” осадков недостаточно иметь данные только о суммарной продолжительности метели за сутки ( $\tau_f$ ). Нужно также знать, какова при этом продолжительность общей  $\tau_{f1}$  и низовой  $\tau_{f2}$  метелей по отдельности. Поскольку в нашем распоряжении были лишь сведения о суммарной суточной продолжительности  $\tau_f$  из [21], то для определения  $\tau_{f1}$  и  $\tau_{f2}$  эта величина делилась пропорционально числу сроков наблюдений за сутки с общей и низовой метелью соответственно (по отметкам в кодах текущей погоды и атмосферных явлений в CD-архиве [27]).

Для тех случаев, когда в исходных данных отсутствуют сведения об атмосферных явлениях в сроки наблюдений, может быть использован способ косвенного расчета  $\tau_{f1}$  и  $\tau_{f2}$  по связи двух параметров: величины отношения месячной продолжительности низовых метелей ( $\tau_{f2}$ ) к суммарной продолжительности метелей за тот же месяц ( $\tau_f$ ), с одной стороны, и отношения средней месячной скорости ветра в дни с осадками ( $\bar{U}_H$ ) к сумме измеренных осадков за месяц ( $P''$ ), с другой.

Эта связь была получена на базе данных CD-архива в среднем для всех 16 станций за период с 1966 по 1990 г. Связь оказалась близкой к линейной со значением коэффициента корреляции между величинами  $Y = \tau_{f2}/\tau_f$  и  $X = \bar{U}_H/P''$ , равным 0,75, средним квадратическим отклонением от линии регрессии  $Y/X$ , равным 0,14, или 30% от значения  $\bar{Y}$ . Формула, описывающая уравнение регрессии  $Y/X$ , имеет вид

$$\frac{\tau_{f2}}{\tau_f} = 1,19 \frac{\bar{U}_H}{P''} + 0,07, \quad (23)$$

где  $\tau_f$  и  $\tau_{f2}$  — в часах;  $\bar{U}_H$  — м/с;  $P''$  — мм.

Располагая данными о суммарной продолжительности метелей  $\tau_f$ , средней скорости ветра во время осадков  $\bar{U}_H$  и суммой измеренных осадков за тот же месяц  $P''$ , можно определить месячные значения  $\tau_{f2}$ . Учитывая, что  $\tau_f = \tau_{f1} + \tau_{f2}$ , вычисляем  $\tau_{f1}$ . Вполне очевидно, что применение формулы (23) при расчете суточных значений  $\tau_{f1}$  и  $\tau_{f2}$  сопряжено с большими случайными погрешностями, но при корректировке осадков за прошлые годы чаще всего важен результат не на суточном, а на месячном уровне, когда применение данной формулы уже вполне приемлемо.

#### 4. Результаты корректировки и их анализ

В результате проведенных расчетов для каждой из упомянутых 16 станций (рис. 2) получены ряды исправленных суточных сумм осадков за весь период наблюдений по осадкомеру Третьякова.



В обобщенном виде результаты корректировки представлены в табл. 5, где содержатся средние многолетние годовые значения измеренных ( $P''$ ) и исправленных ( $P$ ) осадков, их разность ( $P - P''$ ) и соотношение ( $P/P''$ ), а также рассчитанные погрешности: суммарная поправка на смачивание, испарение и конденсацию  $\Delta P$ , "ложные" осадки ( $P_f''$ ) и ветровой недоучет осадков  $\delta_U$ . Последний рассчитан непосредственно по приведенным в табл. 5 годовым значениям членов уравнения  $\delta_U = P - (P'' + \Delta P - P_f'')$ . Кроме того, в табл. 5 показаны годовые значения температуры воздуха ( $T$ ) и скорости ветра на высоте ветроизмерительного прибора ( $U_H$ ) в дни с осадками, средняя годовая продолжительность метелей ( $\tau_f$ ), а также значения параметра защищенности установки осадкомера ( $\bar{m}$ ) и длины разгона метели ( $\bar{l}$ ), осредненные по всем 16 румбам окружности горизонта за весь период наблюдений.

Годовой ход измеренных и исправленных осадков на каждой станции представлен в виде гистограмм их месячных значений на рис. 2б—с.

На рис. 3 показан годовой ход каждой из рассчитанных погрешностей (с учетом знака в формуле (1)), а также измеренных осадкомером осадков, выпавших из облаков ( $P'' - P_f''$ ), в виде частей столбцов гистограмм годового хода исправленных осадков за соответствующие месяцы. Из-за ограниченности объема статьи для демонстрации выбраны лишь станции с наиболее характерными и существенными различиями климатических условий и режима выпадения осадков.

Первичный анализ полученных результатов корректировки осадков позволяет сделать следующие выводы.

1. Годовые значения суммарной погрешности измерения осадков как в абсолютном ( $P - P''$ ), так и в относительном ( $P/P'' - 1$ ) выражении изменяются весьма значительно. Эти изменения вызваны не только различием климатических условий и режима выпадения осадков на каждой станции, но и особенностями их местоположения: степенью защищенности установки осадкомера, влияющей на скорость ветра у его приемной поверхности, а также размером снегосборного бассейна вокруг метеорологической площадки, определяющим длину разгона метели и, следовательно, степень ее насыщенности дефляционными частицами снега, образующими "ложные" осадки.

Максимальные значения разности между исправленными и измеренными годовыми осадками наблюдаются там, где количество выпадающих осадков сравнительно велико, скорость ветра значительна, но местоположение станции таково, что количество "ложных" осадков относительно мало. К таким станциям относятся Мурманск, Усть-Цильма и Туруханск, где разность  $P - P''$  составляет соответственно 191, 177 и 163 мм, среднее количество измеренных осадков колеблется в пределах 426—510 мм, средняя скорость ветра — от 3,8 до 5,1 м/с и при этом длина разгона метели не превышает 100 м, вследствие чего величина "ложных" осадков составляет всего 9—17 мм (2—4% годового количества измеренных осадков).

Минимальные значения разности  $P - P''$  наблюдаются там, где либо количество измеренных осадков сильно преувеличено из-за "ложных" осадков, образовавшихся при сильных ветрах и длительных интенсивных метелях (о. Диксон,  $P_f'' = 132$  мм; м. Шмидта,  $P_f'' = 120$  мм), либо, наоборот,

Таблица 5  
Сводная таблица результатов корректировки осадков

Станция	Период наблюдений	P*	ΔP	P <sub>f</sub>	δ <sub>0</sub>	P		P/P*	T, °C	U <sub>н</sub> , м/с	τ <sub>н</sub> , ч	n̄	l̄, м
						P	P - P*						
Мурманск	1953—1990	425,6	70,9	-17,1	137,0	616,4	190,8	1,45	-0,1	5,1	390	1,00	100
Кандалакша	1953—1990	445,7	51,5	-8,0	69,9	559,1	113,4	1,25	0,1	3,4	226	0,97	20
Нарьян-Мар	1955—1990	382,9	57,0	-16,6	118,5	541,8	158,9	1,41	-3,3	4,9	304	0,99	590
Усть-Цильма	1953—1990	505,9	59,6	-8,8	126,4	683,1	177,2	1,35	-1,6	4,4	395	0,94	73
Печора	1953—1990	527,8	69,6	-24,5	113,5	686,4	158,6	1,30	-2,0	4,0	423	1,00	1000
Хоседа-Хард	1956—1990	405,3	51,0	-40,0	112,0	528,3	123,0	1,30	-4,5	4,6	448	0,99	881
м. Камелный	1954—1990	345,3	50,0	-101,2	168,1	462,2	116,9	1,34	-8,0	7,1	934	0,98	725
о. Диксон	1954—1990	345,8	29,2	-132,1	169,7	412,6	66,8	1,19	-11,3	7,3	1017	0,99	1162
Туруханск	1953—1990	510,4	63,7	-12,3	111,5	673,3	162,9	1,32	-6,4	3,8	444	0,89	64
Хатанга	1954—1990	236,3	50,3	-25,1	95,5	357,0	120,7	1,51	-12,4	4,9	338	0,94	44
Оленек	1956—1990	253,5	56,0	-2,1	37,5	344,9	91,4	1,36	-12,5	2,6	55	0,94	138
Жиганек	1953—1990	261,7	49,7	-15,1	76,6	372,9	111,2	1,42	-11,3	4,3	275	0,98	438
Верхоянск	1953—1990	148,6	49,2	0,0	7,7	205,5	56,9	1,38	-14,6	1,6	7	0,93	344
Чокурдах	1955—1990	197,6	44,1	-26,6	79,9	295,0	97,4	1,49	-14,1	4,7	305	1,00	809
о. Врангеля	1954—1990	164,3	36,2	-42,5	78,6	236,6	72,3	1,44	-10,6	5,2	604	0,94	256
м. Шмидта	1954—1990	306,1	35,4	-120,3	112,8	334,0	27,9	1,09	-11,3	5,9	1049	0,98	863



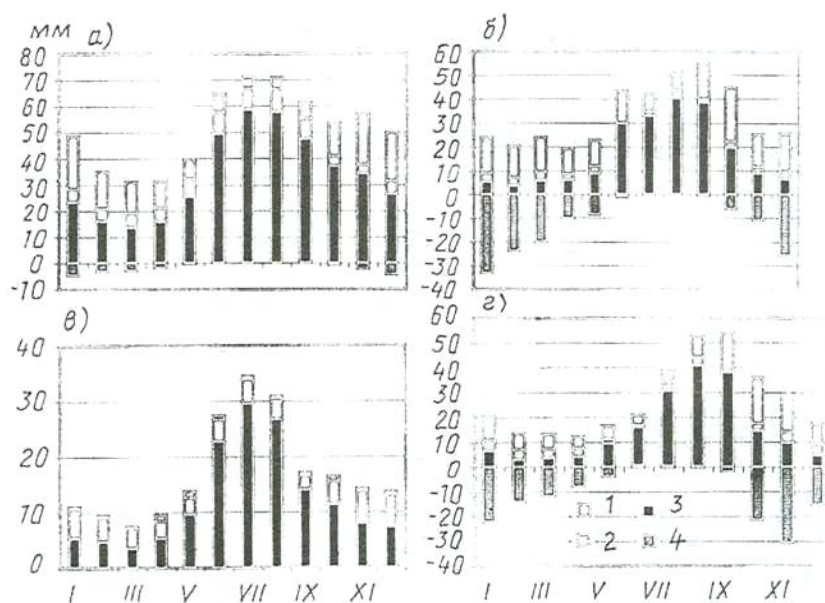


Рис. 3. Годовой ход погрешностей измерения осадков на станциях с разным режимом их выпадения.

1)  $\delta_v$ ; 2)  $\Delta P$ ; 3)  $P^* + P_j^*$ ; 4)  $P_j^*$ . а) Мурманск; б) о. Диксон; в) Верхоянск; г) м. Шмидта.

при очень слабых ветрах, полном отсутствии “ложных” осадков и очень малой ветровой погрешности (Верхоянск). На станции м. Шмидта разность  $P - P''$  составляет всего 28 мм, а на о. Диксон и в Верхоянске значения суммарной погрешности весьма близки (67 и 57 мм соответственно), хотя и обусловлены противоположными причинами.

Максимальные значения относительной величины суммарной погрешности наблюдаются там, где количество выпадающих осадков невелико и количество “ложных” осадков не превышает 10—15% фактической годовой суммы осадков, но скорости ветра значительны и, следовательно, велика ветровая погрешность. К таким станциям относятся Хатанга, где суммарная погрешность достигает 51%, а также Чокурдах и Мурманск, где данная погрешность составляет 49 и 45% соответственно.

Наименьшие значения относительной годовой погрешности, так же как и абсолютной ее величины, наблюдаются на станциях о. Диксон и м. Шмидта, где отмечается самое большое количество “ложных” осадков. На о. Диксон “ложные” осадки лишь немного (на 38 мм) меньше, чем ветровой недоучет  $\delta_v$ , и составляют 38% их фактического годового количества. На станции м. Шмидта “ложные” осадки даже превышают на 8 мм величину ветровой погрешности и составляют 37% фактической годовой суммы осадков.

2. Годовой ход осадков (рис. 2) в результате корректировки заметно изменился. Наиболее ярко эти изменения проявились на станциях с максимальным количеством “ложных” осадков, где в зимние месяцы средние

многолетние суммы исправленных осадков оказались даже меньше измеренных. На о. Диксон этот эффект наблюдается с декабря по февраль, а на м. Шмидта — с октября по март.

По визуальной оценке графиков рис. 2 почти на всех станциях отчетливо заметен рост абсолютных значений суммарной поправки в осенние месяцы, что в некоторых случаях (например, на о. Диксон, в Туруханске и на м. Шмидта) приводит к смещению основного максимума кривой годового хода с июля и августа на сентябрь и даже на октябрь (Туруханск). Этот эффект целиком обусловлен увеличением ветрового недоучета при усилении циклонической деятельности и преобладании затяжных мелкокапельных жидких и смешанных осадков в осенний период.

Существенно изменилась при корректировке такая общепринятая характеристика годового хода, как соотношение осадков холодного (октябрь — апрель) и теплого (май — сентябрь) периодов. В табл. 6 для каждой станции приводится доля осадков холодного периода в общей годовой сумме осадков по измеренным и исправленным данным, а также разность между ними  $\Delta$ .

Данные табл. 6 свидетельствуют о том, что при корректировке доля осадков холодного периода увеличивается на 4—6% в европейской части региона и на 6—9% в азиатской, но только на тех станциях, где “ложные” осадки сравнительно невелики. На станциях с интенсивными и продолжительными метелями наблюдается обратная картина: доля осадков холодного периода, преувеличенная в измеренных суммах из-за “ложных” осадков, при корректировке уменьшается. Величина  $\Delta$  на станциях Хоседа-Хард, о. Врангеля, м. Каменный, о. Диксон и м. Шмидта уменьшается до -10%.

3. Наглядное представление о том, из чего складывается каждая месячная величина исправленных осадков и как этот состав меняется в течение года в разных климатических условиях, дает рис. 3.

На станциях о. Диксон и м. Шмидта в первую очередь обращает на себя внимание превышение “ложных” осадков над частью измеренных осадков, выпавших из облаков в течение всего зимнего периода (на о. Диксоне — с ноября по апрель, на м. Шмидта — с октября по апрель). Следует также отметить своеобразие годового хода суммарной поправки на сма-

Таблица 6

Доля осадков холодного периода в годовом количестве измеренных ( $P_r^*$ ) и исправленных ( $P_r$ ) осадков

Станция	$P_{х.п.}/P_r^*$	$P_{х.п.}/P_r$	$\Delta, \%$	Станция	$P_{х.п.}/P_r^*$	$P_{х.п.}/P_r$	$\Delta, \%$
Мурманск	0,44	0,50	6	Туруханск	0,48	0,54	6
Кандалакша	0,45	0,49	4	Хатанга	0,41	0,48	7
Нарьян-Мар	0,46	0,51	5	Оленск	0,35	0,42	7
Усть-Цильма	0,47	0,53	6	Жиганск	0,36	0,45	9
Печора	0,49	0,53	4	Верхоянск	0,33	0,40	7
Хоседа-Хард	0,44	0,47	3	Чокурдах	0,40	0,45	5
м. Каменный	0,46	0,45	-1	о. Врангеля	0,49	0,50	1
о. Диксон	0,54	0,47	-7	м. Шмидта	0,55	0,45	-10



чивание, испарение и конденсацию на этих станциях. Минимальные ее значения, иногда даже со сменой знака, наблюдаются в период с мая по сентябрь, который здесь характеризуется высокой относительной влажностью, сравнительно низкими температурами, значительной долей смешанных осадков и частыми гололедными явлениями.

На станции Мурманск вклад “ложных” осадков в общую погрешность невелик, и только в период с ноября по февраль  $P_f''$  и  $\Delta P$  соизмеримы. В теплый период  $\Delta P$  достигает наибольших значений и даже превышает ветровую погрешность, которая в эти месяцы уменьшается в связи с преобладанием жидких осадков, сравнительно высокими температурами и уменьшением скорости ветра. Минимальные значения  $\Delta P$  в октябре — ноябре в Мурманске обусловлены увеличением доли смешанных осадков, выпадающих при высокой относительной влажности.

Величина и годовой ход ветровой поправки на всех трех рассмотренных станциях, естественно, соответствуют значениям скорости ветра во время осадков и виду осадков.

На станции Верхоянск, где отсутствуют метели и скорости ветра малы в течение всего года, вся величина суммарной погрешности практически определяется значением  $\Delta P$ . Эти значения особенно велики зимой из-за большого числа случаев со следами осадков, которые не учитываются в измеренных суммах, но при корректировке сумма исправленных осадков становится значимой величиной, рассчитываемой по формуле (1) при условии  $P'' = 0$  (см. выше п. 2)

4. Сравнение результатов корректировки осадков, полученных в данной работе, с результатами применения других методик расчета погрешностей измерения осадков имеет существенное значение как для оценки их достоверности, так и для их дальнейшего использования.

Наиболее употребительными являются данные об исправленных средних многолетних месячных и годовых суммах осадков из Справочника по климату СССР [28] и карты годовых осадков из Атласа мирового водного баланса (МВБ) [25]. В этих изданиях, как сказано выше, использовалась разработанная в ГГО методика корректировки осадков на уровне их средних многолетних месячных значений, причем учитывались лишь две погрешности: ветровой недоучет и потери на смачивание. “Ложные” осадки учитывались приближенно и не всегда. На 4 станциях из 16 (о. Диксон, м. Каменный, о. Врангеля и м. Шмидта) исправленные осадки в зимние месяцы рассчитывались по методике ААНИИ [6, 38], учитывающей влияние “ложных” осадков более корректно и систематически.

Очевидно, целесообразно сравнить именно средние многолетние месячные суммы осадков, полученные двумя разными методами. Однако следует принять во внимание, что в Справочнике по климату СССР при получении норм осадки осреднялись по большей части за периоды разной длительности, но до 1965 г., а в нашем случае — за период с начала 1950-х годов (от 1953 до 1956 г.) по 1990 г. Вполне очевидно, что измеренные средние месячные суммы осадков на одной и той же станции за эти разные периоды могут быть различными. Эти различия отчетливо заметны на рис. 4а, где на горизонтальной оси отложены месячные значения измеренных осадков, осредненные за период с 1950-х по 1990 г. ( $P''$ ), а на вер-

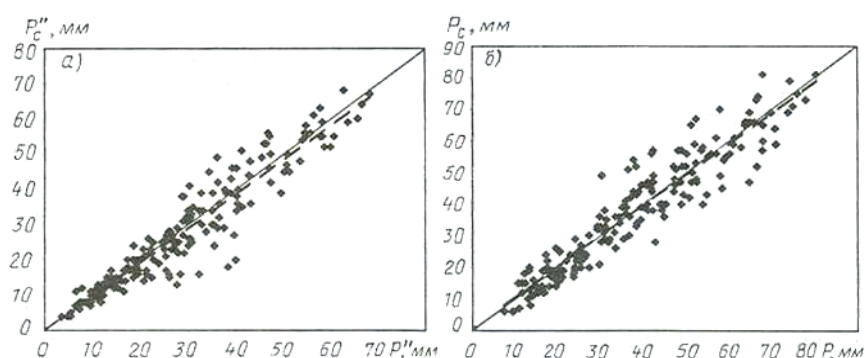


Рис. 4. Сравнение средних многолетних месячных сумм осадков, осредненных за период до 1965 г. и за 1953—1990 гг.  
 а) измеренные осадки:  $P_c''$  — до 1965 г.,  $P_c'$  — за 1953—1990 гг.; б) исправленные осадки:  $P_c$  — до 1965 г.,  $P$  — за 1953—1990 гг.

тикальной — соответствующие месячные суммы осадков ( $P_c''$ ) из справочника [28]. Уравнение линии регрессии имеет вид:  $P_c'' = 0,976P' - 0,477$ , т. е. большинство точек на графике смещены от биссектрисы координатного угла в сторону больших значений  $P''$ . Следовательно, измеренные осадки за период 1954—1990 гг. несколько превышают соответствующие значения из справочника [28] за более ранний период. Этот эффект может быть вызван как долгопериодными циклами колебаний количества осадков, так и практически повсеместным уменьшением скоростей ветра в последние примерно 30 лет, что определенно приводило к уменьшению ветровой погрешности измерения осадков.

При сопоставлении исправленных месячных сумм осадков, полученных в данной работе ( $P$ ) и взятых из [28] ( $P_c$ ), на рис. 4б систематические различия между ними практически исчезают, линия регрессии почти совпадает с биссектрисой координатного угла (ее уравнение принимает вид:  $P_c = 0,992P'' - 0,468$ ). Следовательно, можно считать, что среднее количество выпавших осадков за два сравниваемых периода не изменилось и применение двух разных методик корректировки не приводит к существенным систематическим различиям. Хотя некоторое увеличение разброса точек на рис. 4б ( $\sigma_p = 5,9$  мм) по сравнению с рис. 4а ( $\sigma_{p'} = 5,1$  мм) свидетельствует о дополнительной случайной погрешности, которую вносит процесс корректировки в определение исправленных сумм осадков. Скорее всего, это происходит в большей степени из-за методики, примененной в [28], так как она имеет значительно более приближенный характер, чем методика, использованная в данной работе.

5. Для сравнения годовых сумм исправленных осадков из табл. 5 с данными атласа [25] эти суммы для каждой станции были нанесены на соответствующие карты Европы (М 1:10 000 000) и Азии (М 1:20 000 000), где изолинии в диапазоне сумм осадков до 1000 мм проведены через 100 мм. Данные 14 из 16 рассмотренных станций вполне вписываются в систему изолиний на картах. Исключение составляют лишь станции Печора и Хоседа-Хард в предгорьях Полярного Урала, где откорректированные годовые осадки (табл. 5) оказались на 50—100 мм меньше соответствующих



значений на карте. Причина этого различия в том, что изолинии осадков в этом районе проведены на основании данных [28], где, как уже сказано, не учитывались “ложные” осадки. Поскольку на этих станциях скорость ветра и продолжительность метелей достаточно велики, а местоположение метеорологических площадок практически полностью открытое, “ложные” осадки здесь заметно преувеличивают величину измеренных и в еще большей степени — исправленных осадков.

6. Существенный интерес представляет сравнение полученных результатов с данными из [51], где для корректировки осадков на станциях Сибири и Дальнего Востока от арктического побережья до южных границ России за 1986—1992 гг. применялась методика МОК ВМО, причем расчеты проводились также для суточных сумм осадков. В общее число станций (61), приведенных в [51], входят 7 из 16 рассмотренных в данной работе. В табл. 7 по этим станциям приведены средние многолетние годовые суммы исправленных осадков, полученные в данной работе ( $P_{\Gamma}$ ) и в [51] ( $P_{\text{ВМО}}$ ), а также их разность. Нужно заметить, что при получении этих сумм периоды осреднения частично различались: в [51] это 7-летний период (1986—1992 гг.), в нашей работе — 5-летний (1986—1990 гг.). Тем не менее, основные выводы из сравнения представленных данных вполне определены. Там, где скорости ветра малы и отсутствуют метели (Верхоянск, Оленек), сравниваемые величины практически одинаковы. На станциях с большим количеством “ложных” осадков (о. Диксон, м. Шмидта) методика МОК ВМО дает сильно завышенные результаты, величина которых вряд ли соответствует действительному количеству выпадающих осадков в данных климатических условиях. Вполне очевидно, что это превышение обусловлено отсутствием в методике МОК ВМО корректного способа учета “ложных” осадков.

Нужно также отметить, что расхождения между значениями  $P_{\Gamma}$  и  $P_{\text{ВМО}}$  вызваны еще и различиями в учете потерь на смачивание. В [51] величина  $\Delta P$  считается равной поправке на смачивание, вводимой в измеренные осадки по стандартной методике, соответствующей действующим наставлениям. В данной работе (см. п. 2) величина  $\Delta P$  представляет собой суммарную поправку на смачивание, испарение и конденсацию. Эти различия мало заметны там, где велико влияние “ложных” осадков, но могут выходить на первый план в месячных суммах осадков при слабых ветрах и большом числе случаев со следами осадков.

Таблица 7

Средние годовые суммы осадков (мм), скорректированных по методике В. С. Голубева ( $P_{\Gamma}$ ) и по методике МОК ВМО ( $P_{\text{ВМО}}$ ) [51]

Станция	$P_{\Gamma}$	$P_{\text{ВМО}}$	$P_{\text{ВМО}} - P_{\Gamma}$
о. Диксон	414,9	667,4	252,5
Хатанга	371,0	415,2	44,2
Чокурдах	261,2	296,9	35,7
Туруханск	732,3	836,9	104,6
Оленек	376,7	358,9	17,8
Верхоянск	203,4	205,6	2,2
м. Шмидта	260,5	397,8	137,3

## 5. Заключение

Предложенная методика корректировки осадков, измеренных осадкомером Третьякова, впервые дает возможность учесть все основные систематические погрешности, присущие данному прибору при измерении как жидких, так и твердых осадков. К числу этих погрешностей относятся: ветровой недоучет (аэродинамическая погрешность), суммарная погрешность, возникающая в результате смачивания внутренней поверхности прибора, процессов испарения и конденсации, а также при измерении незначительного количества осадков, обозначенного как 0,0 мм (следы); кроме того, учитывается погрешность, обусловленная попаданием в осадкомер “ложных” осадков, поднятых ветром с поверхности снежного покрова во время сильных метелей.

Алгоритм и программа корректировки позволяют производить расчет исправленных осадков за короткие промежутки времени — за сутки или за отдельные сроки измерения осадков (за 12 и 6 ч). Это дает возможность получения однородных временных рядов осадков любой дискретности (годовых, сезонных, месячных и т. д.) и любых иных характеристик временной структуры режима осадков.

Опыт применения данной методики для корректировки осадков в полярных районах России дал следующие основные результаты.

Наибольшая суммарная годовая погрешность отмечается там, где скорость ветра и продолжительность метелей значительны, но местоположение метеорологической площадки таково, что количество “ложных” осадков невелико (Мурманск, Хатанга).

На станциях с наиболее сильными ветрами, продолжительными метелями и большим радиусом снегосборного бассейна (о. Диксон, м. Каменный, м. Шмидта) суммарная годовая поправка существенно уменьшается из-за большого количества “ложных” осадков, в значительной мере компенсирующих ветровой недоучет в зимние месяцы, а в отдельных случаях даже превосходящих его. Годовая сумма “ложных” осадков на этих станциях достигает 30—40% общего годового количества измеренных осадков. Если такую погрешность не учитывать, то исправленные осадки оказываются преувеличенными весьма значительно. Так, в [51], где авторы использовали для корректировки осадков в Сибири методику, рекомендованную МОК ВМО, без учета “ложных” осадков, средние за 7 лет (1985—1992 гг.) годовые исправленные осадки на станциях о. Диксон, Тикси и м. Шмидта оказались равными 667, 603 и 398 мм соответственно. Эти величины вряд ли отражают реальную картину соотношения элементов теплового и водного балансов в данных климатических условиях.

Сравнение результатов, полученных в данной работе, с соответствующими сведениями об исправленных осадках, содержащихся в широко используемых справочных изданиях и атласах, показало их весьма близкое соответствие. Несмотря на разницу в периодах осреднения и значительно более приближенный характер методики, использованной ранее при корректировке непосредственно средних многолетних месячных значений осадков и в отсутствии надежного эталонного прибора для измерения твердых осадков, существенных систематических различий между сравни-



ваемыми величинами исправленных месячных значений осадков в среднем по региону не отмечается, хотя в отдельных его частях такие различия заметны. Они вызваны слишком приближенным учетом влияния “ложных” осадков в Справочнике по климату СССР [28].

Следует признать, что и в методике, представленной в данной работе, достоверность определения величины “ложных” осадков не столь надежна, как для остальных видов погрешностей, которые определены из сравнения с ВКС. Методика определения интенсивности “ложных” осадков содержит значительное количество допущений и приближенных оценок, и результаты ее применения имеют, в основном, косвенные, а не прямые экспериментальные подтверждения. На наш взгляд, было бы целесообразно продолжить исследования в данном направлении, например, путем организации сравнительных наблюдений по осадкомеру Третьякова и осадкомеру в двойной заборной защите (свободному от надувания “ложных” осадков) непосредственно на станциях арктического региона с интенсивными метелями.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 99-05-65271) и Национального научного фонда США (грант OPP-9908812).

Авторы выражают благодарность Н. Н. Брызгину (ААНИИ) за ценные консультации и содействие в получении сведений об особенностях местоположения арктических станций.

## Литература

1. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. — М., РАН, 1997, 392 с.
2. Беспалов Д. П. (ред.). Методика метеорологических наблюдений. — Труды ГГО, 1972, вып. 280, 216 с.
3. Беспалов Д. П. (ред.). Методика метеорологических наблюдений и поверка приборов. — Труды ГГО, 1971, вып. 260, 187 с.
4. Богданова Э. Г. Метод косвенного расчета средних многолетних величин продолжительности осадков. — Метеорология и гидрология, 1980, № 6, с. 33—37.
5. Бочков А. П. Об уточнении расчета средних годовых осадков. — Труды ГГИ, 1965, вып. 127, с. 174—187.
6. Брызгин Н. Н. Приведение рядов дождемерных наблюдений к рядам осадкомерных и корректировка месячных сумм осадков в Арктике. — Труды ААНИИ, 1976, т. 328, с. 44—52.
7. Временные указания по введению поправок в месячные суммы осадков при расчетах водных балансов речных бассейнов. — Валдай, Изд-во ГГИ, 1967.
8. Голубев В. С. Изучение точности учета атмосферных осадков. — Труды ГГИ, 1969, вып. 176, с. 149—164.
9. Голубев В. С. Исследование влияния двойных заборных защит на показания осадкомера Третьякова. — Труды ГГИ, 1979, вып. 258, с. 91—101.
10. Голубев В. С. Методика корректировки срочных и месячных величин атмосферных осадков и результаты ее поверки. — Труды ГГИ, 1973, вып. 207, с. 11—27.
11. Голубев В. С. Об учете дождевых осадков различными приборами. — Труды ГГИ, 1960, вып. 81, с. 5—18.
12. Голубев В. С. Предварительные оценки точностных характеристик осадкомера в двойной заборной защите. — Метеорология и гидрология, 1991, № 2, с. 116—121.
13. Голубев В. С., Зотимов Н. В., Зыков Н. А. Некоторые результаты исследований жидких осадков в районе Валдайской возвышенности. — Труды ГГИ, 1965, вып. 123, с. 5—14.

14. Голубев В. С., Коновалов Д. А., Богданова Э. Г., Ильин Б. М. Полная модель корректировки осадкомерных данных; методика и алгоритм оценки систематических составляющих погрешности. — ВМО, Instruments and Observing Methods, Report No. 74, ВМО/TD-No. 1028, 2000, pp. 136—139.
15. Голубев В. С., Симоненко А. Ю., Коновалов Д. А., Товмач Ю. В. Корректировка измерений осадков и оценка их качества по данным Валдайской гидрологической станции. — Метеорология и гидрология, 1999, № 1, с. 103—113.
16. Голубев В. С., Симоненко А. Ю., Коновалов Д. А., Товмач Ю. В. Оценка погрешностей измерения осадков Валдайской контрольной системой. — Метеорология и гидрология, 1997, № 7, с. 108—116.
17. Дюнин А. К. Механика метелей. — Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1963, 378 с.
18. Климатологический справочник СССР. Часть 1. История и физико-географическое описание метеорологических станций. Вып. 1, 2, 17, 21, 24, 33, 1968—1970. — Л., Гидрометеиздат, 1969—1971.
19. Котляков В. М. Снежный покров Антарктиды и его роль в современном оледенении материка. — М., Изд-во АН СССР, 1961, 243 с.
20. Лебедев А. Н. Продолжительность дождей на территории СССР. — Л., Гидрометеиздат, 1964, 510 с.
21. Метеорологический ежемесячник, часть 1, 1962—1990.
22. Метеорологический ежемесячник, часть 2, вып. 1, 2, 17, 21, 24, 33, 1966—1990.
23. Методические указания по корректировке месячных сумм осадков в пункте наблюдений. — Л., Гидрометеиздат, 1985, 22 с.
24. Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 89. — Л., Гидрометеиздат, 1976, 96 с.
25. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. — Л., Гидрометеиздат, 1974, 638 с.
26. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 3, часть I. — Л., Гидрометеиздат, 1985, 300 с.
27. 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.
28. Справочник по климату СССР, часть IV, вып. 1—34. — Л., Гидрометеиздат, 1965—1970.
29. Справочник по климату СССР. Данные за отдельные годы, часть 3. Снежный покров, вып. 1, 2, 17, 21, 24, 33, 1970—1975. — Л., Гидрометеиздат.
30. Струзер Л. Р. Анализ возможности использования результатов международных сравнений осадкомеров. — Труды ГГО, 1971, вып. 260, с. 77—96.
31. Струзер Л. Р. (ред.). Атмосферные осадки. Методика измерения и расчетов. — Труды ГГО, 1975, вып. 341, 98 с.
32. Струзер Л. Р. (ред.). Вопросы методики измерения атмосферных осадков. — Труды ГГО, 1965, вып. 175, 208 с.
33. Струзер Л. Р. О способах учета ошибок осадкомеров, вызванных попаданием в них "ложных" осадков во время метелей. — Труды ГГО, 1971, вып. 260, с. 35—60.
34. Струзер Л. Р. Основные недостатки и пути улучшения методов измерения атмосферных осадков. — Труды ГГО, 1965, вып. 175, с. 5—23.
35. Струзер Л. Р., Беспалов Д. П. (ред.). Вопросы методики измерения атмосферных осадков. — Труды ГГО, 1966, вып. 195, 222 с.
36. Струзер Л. Р., Беспалов Д. П. (ред.). Вопросы методики измерения атмосферных осадков. — Труды ГГО, 1968, вып. 215, 164 с.
37. Струзер Л. Р., Богданова Э. Г. К вопросу о надежности расчетов количества "ложных" осадков, попадающих в осадкомер во время метелей. — Труды ГГО, 1972, вып. 280, с. 163—174.
38. Струзер Л. Р., Брызгин Н. Н. Методика вычисления поправок к измеренным величинам атмосферных осадков в полярных районах. — Труды ГГО, 1971, вып. 260, с. 61—76.
39. Струзер Л. Р., Голубев В. С., Горбунова И. Г. Предварительные результаты сравнений осадкомеров. — Метеорология и гидрология, 1966, № 11, с. 53—57.



40. Струзер Л. Р., Нечаев И. Н., Богданова Э. Г. Систематические погрешности измерения атмосферных осадков. — Метеорология и гидрология, 1965, № 10, с. 50—54.
41. Струзер Л. Р., Нечаев И. Н., Богданова Э. Г., Федорова Е. А. Методика корректировки многолетних норм осадков. — Метеорология и гидрология, 1965, № 11, с. 43—50.
42. Forland E. Y. and Hanssen-Bauer I. Increased precipitation in the Norwegian Arctic: True or false? — Climatic Change, 2000, No. 46, pp. 485—509.
43. Forland E. Y., Allerup P., et al. Manual for operation correction of Nordic precipitation data. — DNMI-Klima Report, vol. 24/96, 1996, 66 p.
44. Golubev V. S. Assessment of Accuracy Characteristics of the Reference Precipitation Gauge with a Double-Fence Shelter. — WMO/CIMO, International Organizing Committee for WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison. Final Report of Fourth Session, Geneva, App. F, 1989, pp. 1—13.
45. Golubev V. S. and Bogdanova E. G. Point measurements of solid precipitation. /In: Proc. of Workshop on the ACSYS Solid Precipitation Climatology Project, Reston, VA, USA, September 1995. — WMO/TD-No. 739, 1996, pp. 18—29.
46. Golubev V. S., Bogdanova E. G., and Simonenko A. Yu. The effect of blizzards on the correction method of precipitation data in Arctic region. /In: Proc. of the Workshop on the Implementation of the Arctic Precipitation Data Archive of the Global Precipitation Climatology Center. — Offenbach, Germany, July, 1996. — WMO/TD-No. 804, 1997, pp. 74—79.
47. Goodison B. E. and Yang D. In-situ measurement of solid precipitation in high latitudes: The need for correction. /In: Proceeding of the ACSYS Solid Precipitation Climatology Project Workshop. — WMO/TD-No. 739, WMO, Geneva, 1996, pp. 1—12.
48. Poncelet L. Comparison of rain gauges. — WMO Bulletin, 1959, vol. VIII, No. 4, pp. 3—58.
49. WMO. Instruments and Observing Methods, Report No. 67. WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison. Final Report. WMO/TD-No. 872, 1998, 300 p.
50. Yang D. An improved precipitation climatology for the Arctic Ocean. — Geophys. Res. Lett., 1999, vol. 26, pp. 1625—1628.
51. Yang D. and Ohata T. A bias correction Siberian regional precipitation climatology. — J. of Hydrometeorology, vol. 2, No. 2, pp. 122—139.
52. Yang D., Goodison B. E., Ishida S., and Günther Th. Bias correction of daily precipitation measurements for Greenland. — J. Geophys. Res., 1999, vol. 104, No. D6, pp. 6171—6181.
53. Yang D., Goodison B. E., Ishida S., and Benson C. S. Adjustment of daily precipitation data at 10 climate stations in Alaska: Application of World Meteorological Organization intercomparison results. — Water Resources Res., 1998, vol. 34, No. 2, pp. 241—256.
54. Yang D., Goodison B. E., et al. Accuracy of Tretjakov precipitation gauge: Results of WMO intercomparison. — Hydrological Processes, 1995, vol. 9, pp. 877—895.

Поступила  
15 IV 2002

#### NEW MODEL FOR CORRECTION OF MEASURED PRECIPITATION AND ITS USE IN RUSSIAN POLAR REGIONS

E. G. Bogdanova, V. S. Golubev, B. M. Il'in, and I. V. Dragomilova

*A new model is proposed for correction of precipitation gauge data that takes into account all basic systematic measurement error of the Tretjakov precipitation gauge. An algorithm is proposed on the basis of which a program of correction of daily precipitation totals has been developed. Results are given of correction of daily precipitation totals measured at 16 stations on the Arctic coast and Russian polar regions from Murmansk to Cape Shmidt for the period from the mid-1950s to 1990. In the course of correction, all systematic errors of the precipitation measurement by the Tretjakov gauge were taken into account: neglect of wind effect, total effect of wetting, evaporation, and condensation on the inner surface of a precipitation-receiving vessel, and the effect of "false" precipitation falling into the gauge during snow storms. The results obtained are summarized and presented in the form of standard mean long-term characteristics (monthly and annual totals, intra-annual distribution). Differences between corresponding characteristics obtained from measured and corrected precipitation are estimated.*