

Э. Г. Богданова, Б. М. Ильин, И. В. Драгомилова

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ
УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МЕТОДИКИ
КОРРЕКТИРОВКИ СУТОЧНЫХ СУММ ОСАДКОВ
В РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

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 за счет 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 [5, 21, 23, 24], количество жидких осадков систематически уменьшается на 10—15 % по сравнению с измеренной суммой, количество твердых и смешанных осадков — на 30—60 %. Столь значительные погрешности измерения затрудняют использование сведений об осадках как в научных исследованиях, так и в хозяйственной практике.

В 60—80-х годах XX в. проводились обширные экспериментальные исследования погрешностей осадкомеров. Они проводились как в рамках международных программ под эгидой ВМО [20, 22, 27], так и на наблюдательной сети гидрометслужбы СССР под руководством ГГО и ГГИ. Результаты исследований широко публиковались в научной печати и нашли практическое применение, в частности, при создании таких фундаментальных обобщений, как Справочник по климату СССР [18], Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли [15], Атлас снежно-ледовых ресурсов мира [1].

Все разработанные в ГГО методики определения систематических погрешностей измерения осадков предназначались только для корректировки средних многолетних величин осадков. Кроме того, отсутствие надежного эталонного измерителя твер-

дых осадков делало полученные результаты в холодный период года в значительной мере приближенными.

Попытка использования разработанных методик для корректировки осадков, измеренных в конкретные периоды (сроки, сутки, декады, месяцы и т. д.), предпринятая в начале 1970-х годов, потерпела неудачу по двум основным причинам. Во-первых, несмотря на максимально возможные упрощения 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 на смачивание, компенсирующей только одну из систематических погрешностей. Эта поправка на смачивание вводится с 1 января 1966 г. по настоящее время на всех пунктах наблюдений за осадками. Все остальные систематические погрешности остаются неучтенными в информации об осадках.

Поскольку значения этих погрешностей особенно велики для твердых осадков, с 1985 по 1996 г. по инициативе Комиссии по приборам и методам ВМО при активном участии ГГИ проводились Международные сравнения осадкомеров, измеряющих твердые осадки. В качестве Международного эталона сравнения использовалась Валдайская контрольная система (ВКС) измерения осадков, установленная на Валдайском осадкомерном полигоне. Эта система представляет собой комплекс осадкомеров с различной ветровой защитой, установленных среди обширного кустарника, систематически подрезаемого вровень с приемной поверхностью осадкомеров. Надежность и достоверность показаний ВКС проверены многолетними результатами испытаний и разработанной авторами методикой объективной оценки характеристик точности применяемых средств измерения [8, 29].

На основе результатов многолетних сравнений данных осадкомера Третьякова и ВКС В. С. Голубевым была разработана общая модель корректировки измеренных осадков, учитывающая все основные систематические погрешности осадкомера Третьякова, и предложен первый вариант алгоритма корректировки осадков за отдельные сроки измерений [4].

1. Полная модель корректировки осадков, измеренных осадкомером Третьякова

Научное обоснование разработанной В. С. Голубевым методики корректировки суточных сумм измеренных осадков содержится в работах [6, 7, 25, 26]. Численные параметры всех уравнений для расчета погрешностей получены экспериментально при сравнении показаний осадкомера Третьякова с данными ВКС, а также на основе обобщения исследований характеристик снегопереноса во время метелей [9, 11].

В работе [4] данная модель представлена вместе с комплексом алгоритмов необходимых расчетов. В ходе дальнейших исследований в первоначальный алгоритм программы корректировки были внесены уточнения, касающиеся расчета «ложных» осадков во время метелей при скорости ветра более 10 м/с. На основе уточненного алгоритма в ГГО разработана усовершенствованная методика корректировки суточных сумм осадков. Ее подробное описание приведено в работе [3]. В соответствии с данной методикой 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); ΔP — поправка, компенсирующая эффект воздействия процессов испарения, конденсации и смачивания внутренней поверхности осадкомера при каждом измерении осадков, в том числе когда их измеренное количество $P'' = 0$ мм (следы); P''_{f1} и P''_{f2} — поправки, учитывающие количество ложных осадков, попавших в осадкомер за время общей и низовой метели соответственно.

Для корректировки измеренного количества осадков требуются данные о пункте наблюдений и метеорологических величинах.

1. Сведения о пункте наблюдений: высота площадки над уровнем моря (H м), высота приемной поверхности осадкомера над поверхностью земли (h м), высота ветроизмерительного при-

бора над поверхностью земли (H_{ϕ} м), угол закрытости горизонта по 16 румбам кругового обзора (α (A°)), длина разгона метели по 16 румбам кругового обзора ($l(A)$ м).

2. Метеорологические характеристики: количество осадков, измеренное в срок наблюдений (P'' мм), скорость ветра по анеморумбометру (флюгеру) в сроки наблюдений (U_n м/с), направление ветра в сроки наблюдений (A румб), температура воздуха в сроки наблюдений (t_n $^\circ\text{C}$), парциальное давление водяного пара в сроки наблюдений (e_n гПа), относительная влажность воздуха в сроки наблюдений (r_n %), атмосферное давление на высоте станции в сроки наблюдений (P_n гПа), высота снежного покрова на метеоплощадке (h_s м), вид и продолжительность атмосферных явлений (осадкообразующих или определяющих состояние снежного покрова: поземок, метель низовая, метель общая, ледяной дождь, крупа ледяная, крупа снежная, зерна снежные, морось, дождь, дождь ливневый, град, снег, снег ливневый, снег мокрый, снег ливневый мокрый).

2. Корректировка суточных сумм измеренных осадков

2.1. Исходные данные

На основании усовершенствованной методики были откорректированы суточные суммы осадков, измеренных осадкомером Третьякова за период с середины 1950-х до 1990 г. на станциях, расположенных в трех регионах с существенно различными климатическими условиями:

в континентальной арктической зоне РФ и прилегающих островах (16 станций); здесь годовая доля твердых осадков составляет 30—60 %, а продолжительность метелей колеблется от нескольких часов в год (Верхоянск) до 1000 ч в год и более (о. Диксон, мыс Шмидта);

в центральной части европейской территории России в бассейне Каспийского моря (15 станций), где годовая доля твердых осадков составляет 15—25 % и продолжительность метелей меняется в пределах 100—500 ч в год;

на акватории Северного Ледовитого океана. Здесь были откорректированы данные 27 дрейфующих станций СП за период с

1956 по 1990 г. Доля твердых осадков достигает здесь 80 % в год, а средняя продолжительность метелей составляет приблизительно 1100 ч в год.

Координаты выбранных станций указаны в табл. 4. Среднее месячное положение станций СП за период дрейфа каждой из них представлено в работе [28].

В качестве исходного материала для корректировки осадков, измеренных на континентальных станциях, использовался CD-архив 4-срочных (до 1966 г.) и 8-срочных (с 1966 по 1990 г.) метеорологических наблюдений [17]. Суточные значения высоты снежного покрова на метеорологической площадке определялись интерполяцией их декадных значений, взятых из Справочника по климату СССР [19] (до 1966 г.) и из Метеорологического ежемесячника, ч. 2 [14] (с 1966 по 1990 г.).

Для определения параметров защищенности метеорологических площадок m и l , характеризующих искажение логарифмического профиля ветра над площадкой (m) и длину разгона метели (l) по 16 румбам, использовались данные Климатологического справочника СССР [10], содержащего сведения о топографии, ландшафте, ближайшем окружении метеоплощадки, датах переноса станции, графики вертикальных углов закрытости горизонта, характеристики препятствий вокруг площадки и расстояния до препятствий. Кроме того, использовались технические дела станций, хранящиеся в архивах ААНИИ, в которых имеются планы ближайшего окружения метеоплощадок в радиусе 300—400 м, а также полученные непосредственно со станций описания современного состояния защищенности метеорологических площадок.

Для корректировки осадков, измеренных на дрейфующих станциях СП, использован архив суточных метеорологических данных ААНИИ с 1956 по 1990 г. В число метеорологических характеристик, содержащихся в архиве ААНИИ, входят: атмосферное давление, температура и относительная влажность воздуха, скорость ветра, высота снежного покрова на метеорологической площадке, количество осадков и кодовая характеристика вида осадков (твердые, смешанные и жидкие).

Очевидно, что для применения описанной выше методики корректировки осадков в обоих упомянутых архивах отсутствует

ряд необходимых сведений, а именно: количество осадков P'' , непосредственно измеренных осадкомером (в архивах приведены срочные или суточные суммы осадков $P_{\text{арх}}$ с поправкой на смачивание, введенной по стандартной методике); характеристика вида метелей (общая, низовая) и продолжительности метелей каждого вида за отдельные сутки; продолжительность осадков в день с осадками. Кроме того, в архиве ААНИИ отсутствуют данные о числе измерений осадков за каждые сутки (эта величина может равняться 1 или 2 при двух стандартных сроках измерения осадков в сутки).

2.2. Определение отсутствующих данных

Измеренное количество осадков. Количество осадков за каждый срок измерений P'' содержится в используемой базе данных [17] лишь до 1966 г. В 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. В 1967 г. методика учета и значение поправки на смачивание были изменены; они действуют до настоящего времени [16]. Следовательно, для получения измеренного количества осадков за каждый срок, начиная с 1966 г., из соответствующего количества осадков, содержащегося в использованном архиве [17], потребовалось вычесть значение поправки на смачивание.

В архиве ААНИИ по дрейфующим станциям значения $P_{\text{арх}}$ за отдельные сроки измерений отсутствуют, вместо них для расчета P'' были использованы суточные суммы осадков $P_{\text{арх}}$. Иначе говоря, значения P'' рассчитывались так, как если бы осадки измерялись один раз в сутки. Поэтому вычитаемая из $P_{\text{арх}}$ суммарная поправка на смачивание оказалась меньше фактически использованного значения, а значения P'' несколько больше фактически измеренных осадков. Но в такой же мере была уменьшена и суммарная поправка ΔP , введенная также в соответствии с числом дней с осадками, а не с числом их измерений. Поскольку стандартная поправка на смачивание и значение ΔP различаются в большинстве случаев не слишком сильно [7], такая неточность расчета не оказывает существенного влияния на скорректированное количество осадков.

Продолжительность осадков за месяц рассчитывалась в зависимости от месячной повторяемости кодовых значений осадкообразующих явлений в текущей погоде. Это соотношение, известное как формула Кеппена [2, 12], широко используется в практике климатологических расчетов для косвенного определения средних многолетних месячных значений продолжительности осадков. Формула имеет вид:

$$\tau_{\text{ос}} = TQ/M, \quad (2)$$

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

В соответствии с законами статистики случайных величин при достаточной статистической обеспеченности должно соблюдаться равенство $T/M = \tau_{\text{ос}}/Q$, т. е. при 8-срочных наблюдениях всегда должно быть $\tau_{\text{ос}} = 3Q$, а при 4-срочных — $\tau_{\text{ос}} = 6Q$. Теоретически различия между фактически наблюдаемыми и рассчитанными по формуле (2) значениями $\tau_{\text{ос}}$ должны иметь лишь случайный характер, обусловленный случайной погрешностью определения фактической продолжительности осадков. Для оценки этих различий, т. е. погрешности определения $\tau_{\text{ос}}$ по формуле (2), было проведено сопоставление месячных значений $\tau_{\text{ос}}$, рассчитанных по формуле (2), и фактических значений $\tau_{\text{ос.ф}}$, полученных по результатам визуальных наблюдений, взятых из Метеорологического ежемесячника, ч. 2 [14] за 10-летний период (с 1971 по 1980 г. — 8-срочные наблюдения) на 9 станциях из числа рассматриваемых в данной работе. Для каждого месяца года (по станциям бассейна Каспия — только за пять зимних месяцев) рассчитывалось значение $\tau_{\text{ос.ф}}/Q$ и затем за весь период определялось среднее квадратическое отклонение этого значения от трех ($T/M = 3$ при 8-срочных наблюдениях).

В табл. 1 приведены результаты проведенных сравнений. Как

видно из табл. 1, значения $\left(\frac{\tau_{\text{ос.ф}}}{Q} \right)$ на всех станциях очень близки

к трем, а коэффициент вариации (C_v) за отдельные месяцы со-

Таблица 1

Статистические характеристики связи фактической продолжительности осадков между двумя сроками наблюдений

$\left(\frac{\overline{\tau_{\text{ос.ф}}}}{Q}\right)$ с величиной $T/M = 3$ (при восьми сроках наблюдений в сутки)

Станция	Число месяцев	$\left(\frac{\overline{\tau_{\text{ос.ф}}}}{Q}\right)$ 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
Москва	50	2,91	0,24	8
Самара	47	3,08	0,20	6
Пермь	49	2,95	0,47	16
Элиста	50	2,96	0,33	11
Оренбург	46	3,05	0,23	8

ставляет всего 6—16 %. Следовательно, систематическое отличие рассчитанных значений $\tau_{\text{ос}}$ от фактически наблюдаемых практически отсутствует, а случайная погрешность определения $\tau_{\text{ос}}$ по формуле (2) в данных условиях составляет 6—16 % фактической месячной продолжительности осадков.

Расчет месячной продолжительности осадков по формуле (2) возможен лишь при наличии сведений о месячной повторяемости осадков. Из-за отсутствия этих данных в архиве станций СП в расчетах была использована связь между продолжительностью осадков, с одной стороны, и числом дней с осадками, температурой и влажностью — с другой, которая была установлена в работе [2].

Для наших целей, когда требуется определить не среднюю многолетнюю продолжительность осадков, а ее значение за конкретный месяц, формула из [2] была несколько преобразована:

$$\tau_{\text{ос}} = D^{1.5} e^2 10^{a+bt}, \quad (3)$$

где $\tau_{\text{ос}}$ — продолжительность выпадения осадков за конкретный месяц, ч; D — общее число дней с осадками за тот же месяц,

включая дни со следами осадков; e и t — соответственно парциальное давление водяного пара (гПа) и температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), осредненные за дни с осадками в данном месяце; a и b — постоянные, определяемые для каждой станции из сравнения фактически наблюдаемых и рассчитанных по формуле (3) месячных значений продолжительности осадков.

Определение коэффициентов a и b было проведено по данным 16 станций полярного региона за период с 1966 по 1990 г. на базе вышеупомянутого CD-архива. В качестве фактических месячных величин $\tau_{\text{ос}}$ использовались значения, рассчитанные по формуле (2). Полученные значения a и b для каждой станции, а также эти значения, осредненные по всем станциям ($a = -1,11$; $b = -0,07$), и статистические характеристики связи между значениями месячной продолжительности осадков, рассчитанными по формулам (2) и (3), приводятся в табл. 2.

Таблица 2

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

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

Сравнивая значения C_v в табл. 1 и 2, видим, что определение месячных значений τ_{oc} по формуле (3) существенно менее точно, чем по формуле (2). Однако формула (3) дает возможность использовать архивы суточных и даже месячных данных, не имея сведений о данных за отдельные сроки наблюдений.

Продолжительность метелей. Для расчета количества ложных осадков необходимы данные о суточной продолжительности общей и низовой метелей. Такие данные отсутствуют в CD-архиве, и для наших расчетов по полярным станциям они дополнительно выбирались из ежемесячников [13] и из таблиц ТМС. В случае отсутствия указанных данных 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 полярных станций за период с 1966 по 1990 г. по данным о ветре из CD-архива и о суточной продолжительности метелей из ежемесячников [13].

Полученные линейные зависимости описываются формулой

$$\tau_f = c\bar{U}_n + d, \quad (4)$$

где τ_f — суммарная продолжительность метелей за сутки, ч; \bar{U}_n — средняя суточная скорость ветра на высоте ветроизмерительного прибора, м/с; c и d — параметры уравнения регрессии.

При этом значение τ_f не может быть меньше 0 и больше 24 ч.

В табл. 3 приведены рассчитанные значения c и d для каждой из 15 полярных станций, а также статистические характеристики связи между суммарной суточной продолжительностью метелей (τ_f) и средней суточной скоростью ветра (\bar{U}_n) в день с метелью. По данным станции Верхоянск расчеты не проводились из-за слабых ветров и незначительного числа дней с метелью.

Формула (4) использована также в расчете по СП-станциям, так как в архиве ААНИИ нет сведений о продолжительности или повторяемости метелей.

Для станций бассейна Каспия продолжительность метелей за период до 1962 г. определялась косвенно по повторяемости сроков наблюдений с метелями по формуле, аналогичной формуле (2).

Таблица 3

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

Станция	c	d	$R_{\tau, U} \pm \sigma_R$	S_r	$\bar{\tau}_f$, 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
Мыс 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
Мыс 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. 3, определение суточных значений τ_f по формуле (4) осуществляется с весьма значительной случайной погрешностью, что сказывается на точности расчета ложных осадков за отдельные сутки. Однако нужно принимать во внимание, что уже при месячном суммировании значение этой случайной погрешности существенно уменьшается.

Чтобы рассчитать суточное количество ложных осадков, нужно также знать, какова продолжительность общей (τ_{f1}) и низовой (τ_{f2}) метелей по отдельности. Эти данные определялись из суммарной суточной продолжительности τ_f пропорционально числу сроков наблюдений за сутки с общей и низовой метелью (по отметкам в кодах текущей погоды и атмосферных явлений).

Для дрейфующих станций СП был использован способ косвенного расчета значений τ_{f1} и τ_{f2} по связи двух параметров: отношения месячной продолжительности низовых метелей (τ_{f2}) к суммарной продолжительности метелей за тот же месяц (τ_f) и отношения средней месячной скорости ветра в дни с осадками ($\bar{U}_н$) к сумме измеренных осадков за месяц (P'').

Эта связь была получена на базе данных СД-архива в среднем для 16 станций арктического региона с 1966 по 1990 г. Связь оказалась близкой к линейной; коэффициент корреляции между величинами $Y = \tau_{f2}/\tau_f$ и $X = \bar{U}_н/P''$ равен 0,75, среднее квадратическое отклонение от линии регрессии Y/X равно 0,14, или 30 % значения \bar{Y} . Формула, описывающая уравнение регрессии Y/X , имеет вид

$$\frac{\tau_{f2}}{\tau_f} = 1,19 \frac{\bar{U}_н}{P''} + 0,07. \quad (5)$$

Располагая данными о суммарной продолжительности метелей τ_f , средней скорости ветра во время осадков $\bar{U}_н$ и сумме измеренных осадков за тот же месяц P'' , можно определить месячные значения τ_{f2} . Учитывая, что $\tau_f = \tau_{f1} + \tau_{f2}$, легко вычислить τ_{f1} . Вполне очевидно, что применение формулы (5) при расчете суточных значений τ_{f1} и τ_{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.

3. Результаты корректировки осадков и их анализ

После проведения расчетов для каждой станции получены ряды исправленных суточных сумм осадков за весь период. В табл. 4 в обобщенном виде представлены результаты корректировки:

средние многолетние годовые значения измеренных (P'') и исправленных (P) осадков, их разность ($P - P''$) и отношение (P/P'');

Таблица 4

Сводная таблица результатов корректировки осадков

Станция	φ°	λ°	P'' мм	ΔP мм	P_1'' мм	δP_1 мм	P мм	$(P - P'')$ мм	P/P''	$t^\circ C$	U м/с	$\tau, ч$	m	l м
Станции СП			128,0	15,4	-38,2	59,3	164,5	36,5	1,28	-17,4	5,2	1089	1,00	3000
Акватория Северного Ледовитого океана														
Континентальные станции Арктического региона														
Мурманск	68,97	33,05	425,6	70,9	-17,1	137,0	616,4	190,8	1,45	-0,1	5,1	390	1,00	100
Кандалакша	67,13	32,43	445,7	51,5	-8,0	69,9	559,1	113,4	1,25	0,1	3,4	226	0,97	20
Нарьян-Мар	67,65	53,02	382,9	57,0	-16,6	118,5	541,8	158,9	1,41	-3,3	4,9	304	0,99	590
Усть-Цильма	65,45	52,17	505,9	59,6	-8,8	126,4	683,1	177,2	1,35	-1,6	4,4	395	0,94	73
Печора	65,12	57,10	527,8	69,6	-24,5	113,5	686,4	158,6	1,30	-2,0	4,0	423	1,00	1000
Хоседа-Хард	67,08	59,38	405,3	51,0	-40,0	112,0	528,3	123,0	1,30	-4,5	4,6	448	0,99	881
Мыс Каменный	68,47	73,60	345,3	50,0	-101,2	168,1	462,2	116,9	1,34	-8,0	7,1	934	0,98	725
О. Диксон	73,50	80,40	345,8	29,2	-132,1	169,7	412,6	66,8	1,19	-11,3	7,3	1017	0,99	1162
Туруханск	65,78	87,95	510,4	63,7	-12,3	111,5	673,3	162,9	1,32	-6,4	3,8	444	0,89	64
Хатанга	71,98	102,47	236,3	50,3	-25,1	95,5	357,0	120,7	1,51	-12,4	4,9	338	0,94	44
Оленек	68,50	112,43	253,5	56,0	-2,1	37,5	344,9	91,4	1,36	-12,5	2,6	55	0,94	138
Жиганск	66,77	123,40	261,7	49,7	-15,1	76,6	372,9	111,2	1,42	-11,3	4,3	275	0,98	438
Верхоянск	67,55	133,38	148,6	49,2	0,0	7,7	205,5	56,9	1,38	-14,6	1,6	7	0,93	344
Чокурдах	70,62	147,88	197,6	44,1	-26,6	79,9	295,0	97,4	1,49	-14,1	4,7	305	1,00	809
О. Врангеля	70,97	-178,37	164,3	36,2	-42,5	78,6	236,6	72,3	1,44	-10,6	5,2	604	0,94	256
Мыс Шмидта	68,92	-179,48	306,1	35,4	-120,3	112,8	334,0	27,9	1,09	-11,3	5,9	1049	0,98	863

Окончание табл. 4

Станция	φ°	λ°	P'' мм	ΔP мм	P_f'' мм	δU мм	P мм	$(P - P'')$ мм	P/P''	t °C	U м/с	τ_f ч	m	l м
Бассейн Каспийского моря														
Вологда	59,28	39,87	536,5	53,6	-5,5	78,3	662,9	126,3	1,24	2,7	3,9	233	0,95	846
Вятка	58,65	49,62	564,3	51,9	-10,3	77,4	683,3	119,0	1,21	2,1	3,9	330	0,89	973
Перь	58,02	56,30	563,9	56,4	-3,5	64,5	681,3	117,4	1,21	1,8	3,2	556	0,89	377
Кострома	57,73	40,95	565,5	50,0	-3,7	79,2	690,9	125,5	1,22	3,1	4,0	453	0,93	253
Ижевск	56,82	53,27	489,6	54,6	-7,2	72,5	609,4	119,9	1,24	2,5	4,0	289	0,91	324
Красно-уфимск	56,62	57,75	506,0	66,9	-2,7	39,1	609,3	103,3	1,20	1,7	2,5	266	0,91	408
Нижний Новгород	56,22	43,82	556,0	50,6	-1,3	44,5	649,8	93,7	1,17	3,7	3,4	184	0,75	161
Казань	55,78	49,18	505,8	44,4	-0,3	63,5	613,4	107,6	1,21	3,7	3,9	204	0,85	23
Москва, ВДНХ	55,75	37,57	629,6	64,5	-1,1	43,4	736,3	106,7	1,17	4,6	2,8	157	0,77	124
Елаьга	54,95	41,77	571,2	38,3	-1,3	62,1	670,3	99,1	1,17	4,3	3,4	119	0,90	781
Уфа	54,75	56,00	527,4	49,3	-1,2	83,6	659,2	131,8	1,25	3,3	3,6	209	0,91	67
Самара	53,25	50,45	501,6	40,0	-2,1	67,3	606,9	105,3	1,21	4,3	3,9	226	0,84	91
Тамбов	52,73	41,47	511,2	44,5	-4,5	59,9	611,2	100,0	1,20	5,2	3,8	205	0,86	464
Октябрьский Городок	51,63	45,45	408,6	35,7	-2,7	66,4	508,1	99,5	1,24	4,9	4,5	179	0,88	164
Оренбург	51,75	55,10	343,9	40,4	-2,4	68,5	450,3	106,4	1,31	4,8	4,6	222	0,92	253

значения рассчитанных погрешностей: суммарной поправки на смачивание, испарение и конденсацию (ΔP), ложных осадков (P_f'') и ветрового недоучета осадков (δ_V);

средние годовые значения температуры воздуха и скорости ветра в дни с осадками, суммарная продолжительность метелей (τ_f);

осредненные по всей окружности горизонта значения параметра защищенности метеорологической площадки (m) и среднего радиуса снегосборного бассейна (l).

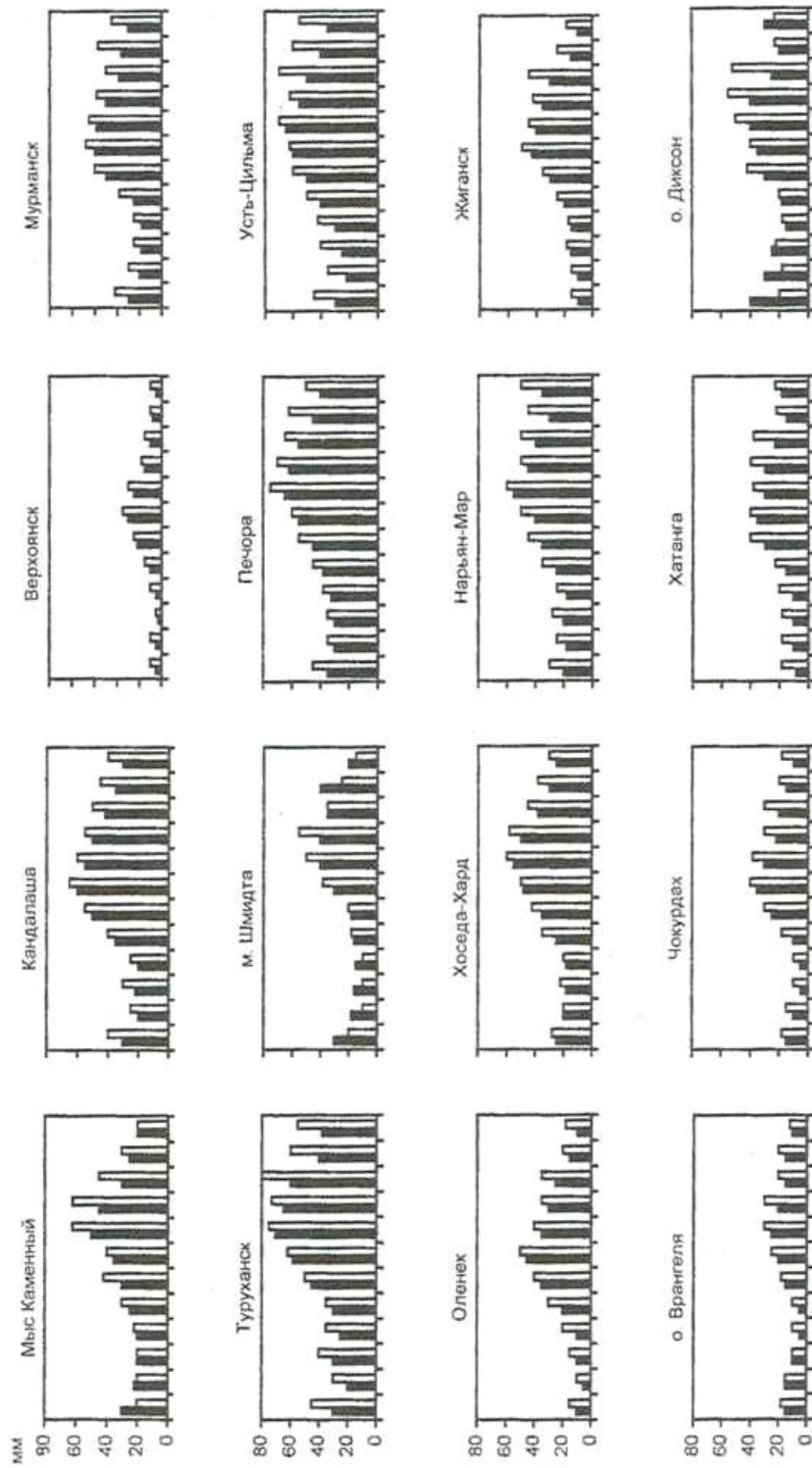
Годовой ход измеренных и исправленных осадков на каждой станции представлен в виде гистограмм их месячных значений на рис. 1. На рис. 2 показан годовой ход всех рассчитанных погрешностей (с учетом знака в формуле (1)), а также измеренных осадкомером осадков, выпавших из облаков (т. е. величины ($P'' - P_f''$)), 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.

В табл. 5 и на рис. 3 представлен годовой ход характеристик измеренных и исправленных осадков, осредненных по всем дрейфующим станциям СП за весь период наблюдений.

Таблица 5

Годовой ход характеристик измеренных и исправленных осадков на дрейфующих станциях СП

Месяц	$P_{\text{врк}}$ мм	P'' мм	P мм	$\frac{P}{P''}$	ΔP мм	$(P_{\text{врк}} - P'')$ мм	$(P_{f1}'' + P_{f2}'')$ мм	$\frac{P_{f1}'' + P_{f2}''}{P''}$
I	10,5	9,2	12,5	1,35	2,4	1,3	-5,1	0,55
II	8,4	7,3	9,5	1,30	2,2	1,1	-4,1	0,56
III	8,6	7,5	9,5	1,25	2,2	1,1	-4,4	0,59
IV	5,8	4,9	7,4	1,51	1,6	0,9	-1,9	0,39
V	7,6	6,3	9,2	1,45	1,5	1,3	-1,8	0,29
VI	11,7	9,8	12,4	1,27	-0,2	1,9	-1,1	0,11
VII	21,4	18,8	23,7	1,26	-0,7	2,6	0,0	0,00
VIII	20,4	17,9	22,4	1,26	-1,1	2,5	-0,9	0,05
IX	19,7	17,5	20,3	1,16	0,3	2,2	-5,0	0,29
X	14,3	12,3	15,3	1,24	2,6	2,0	-5,7	0,46
XI	9,8	8,5	11,1	1,31	2,3	1,3	-4,2	0,50
XII	9,3	8,0	11,1	1,39	2,3	1,3	-4,0	0,50
Год	147,5	128,0	164,5	1,28	15,4	19,5	-38,2	0,30



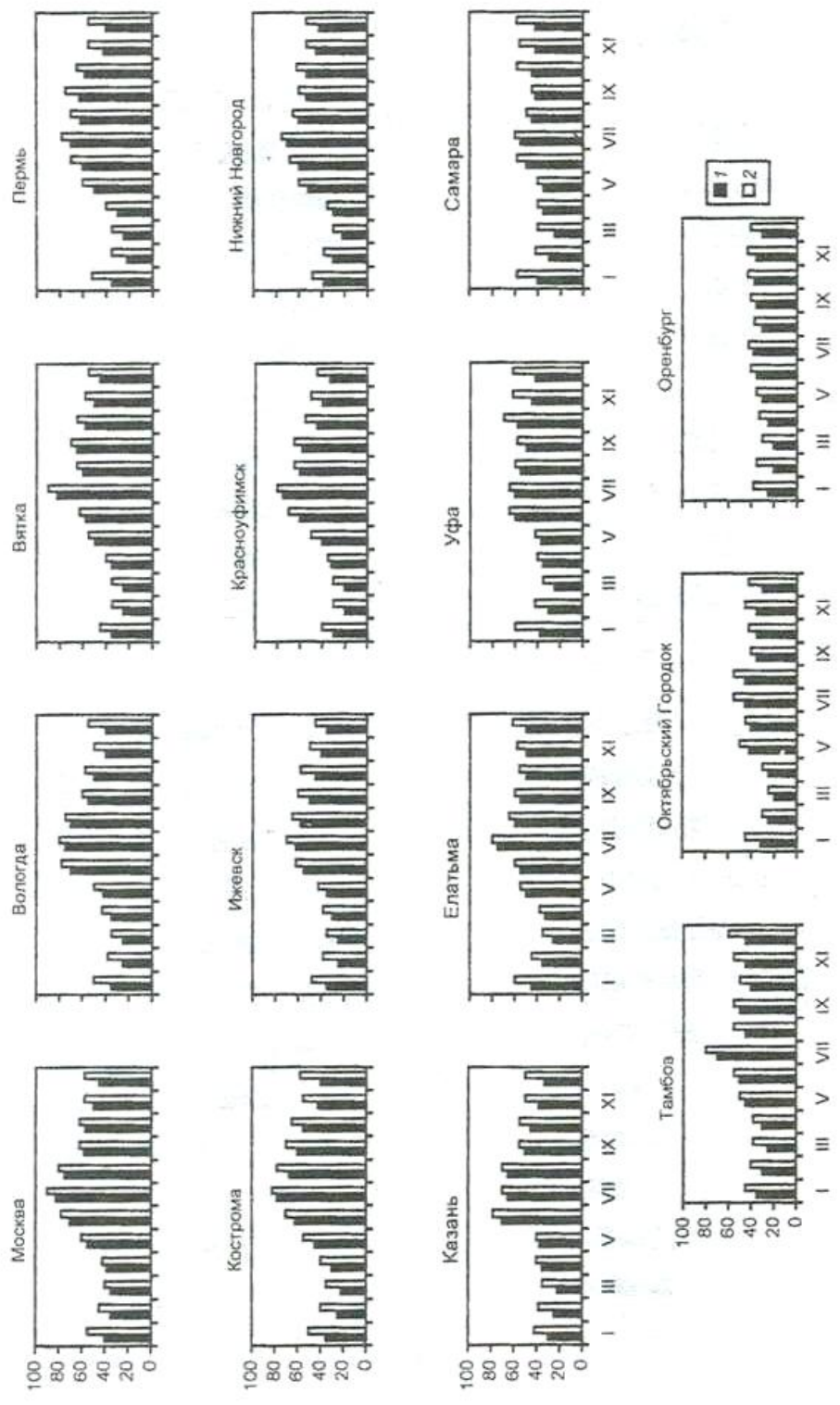


Рис. 1. Годовой ход измеренных (1) и исправленных (2) осадков (мм)

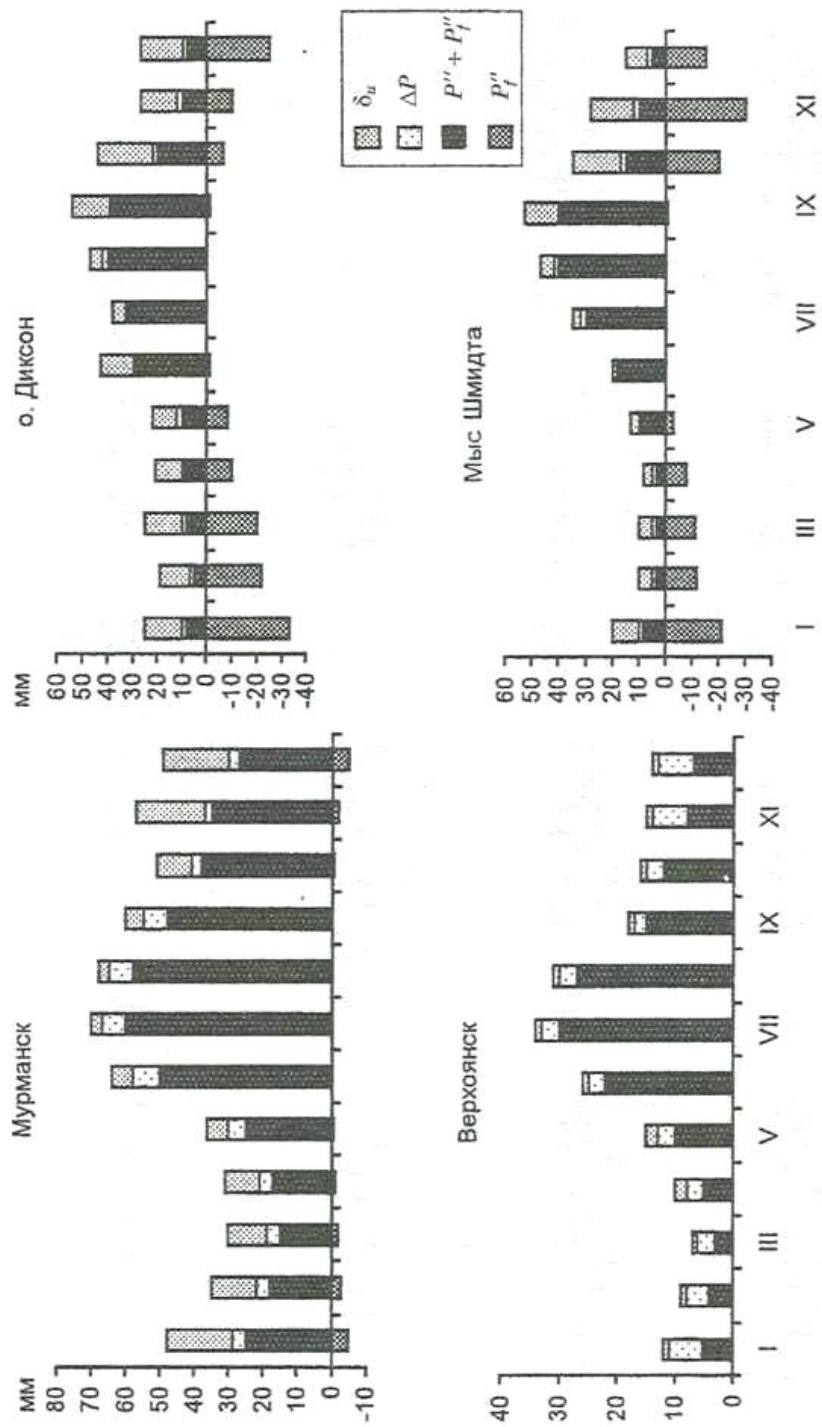


Рис. 2. Годовой ход погрешностей измерения осадков на станциях с различным режимом их выпадения

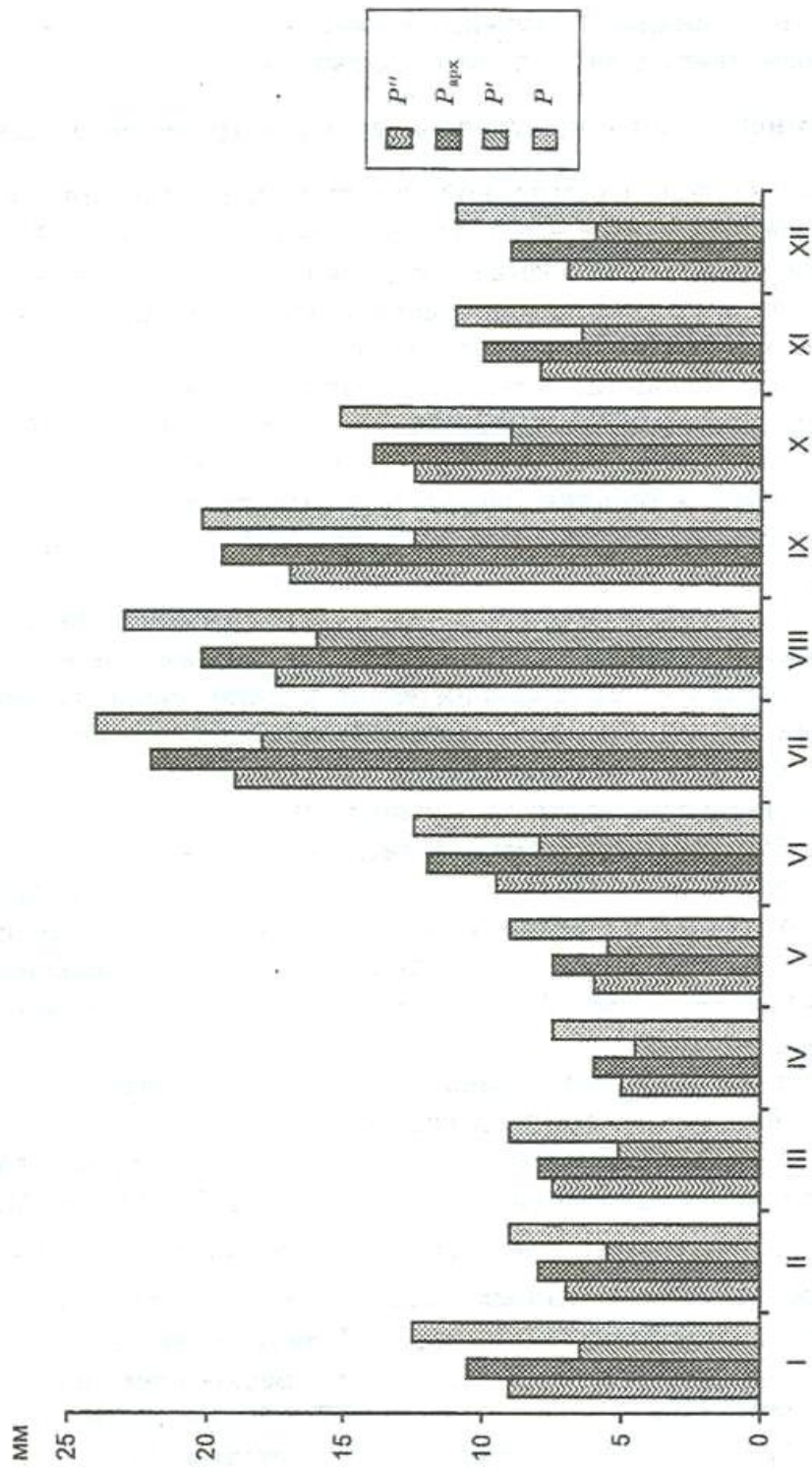


Рис. 3. Годовой ход характеристик измеренных и исправленных осадков на дрейфующий станции

P'' — измеренные осадки; $P_{\text{сп}} = P'' + \Delta P$; $P' = P'' - P''_j$; $P = KP'$

Первичный анализ полученных результатов корректировки осадков позволяет сделать следующие выводы.

3.1. Континентальные и островные станции арктической зоны

Годовые значения суммарной погрешности измерения осадков как в абсолютном ($P - P''$), так и в относительном ($P/P'' - 1$) выражении изменяются весьма существенно. Эти изменения вызваны не только различием климатических условий и режима выпадения осадков на каждой станции, но и особенностями местоположения станций: 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 (Мурманск; Усть-Цильма и Туруханск). На этих станциях 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 количество ложных осадков составляет всего 9—17 мм (2—4 % годового количества измеренных осадков).

Минимальные значения разности $P - P''$ наблюдаются либо там, где количество измеренных осадков сильно преувеличено за счет ложных осадков, образовавшихся при сильных ветрах и длительных интенсивных метелях (о. Диксон — $P'' = 132$ мм; Мыс Шмидта — $P'' = 120$ мм), либо, наоборот, при очень слабых ветрах, полном отсутствии ложных осадков и очень малой ветровой погрешности (Верхоянск). На ст. Мыс 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 суммарной погрешности наблюдаются там, где количество выпадающих осадков невелико и количество ложных осадков не превышает 10—15 % измеренной 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, наблюдаются на о. Диксон и Мысе Шмидта, где отмечается самое большое количество ложных осадков. На о. Диксон ложные осадки лишь немного (на 38 мм) меньше, чем ветровой недоучет δ_v ; они составляют 38 % измеренного годового количества. На Мысе Шмидта ложные осадки даже превышают на 8 мм значение ветровой погрешности и составляют 37 % измеренной годовой суммы осадков.

Годовой ход осадков (см. рис. 1) 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 март, а на Мысе Шмидта — с октября по март.

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

Наглядное представление о том, из чего складывается месячное количество исправленных осадков и как этот состав меняется в течение года в различных климатических условиях, дает рис. 2. На станциях о. Диксон и Мыс Шмидта в первую очередь обращает на себя внимание превышение ложных осадков (P_l'')

над частью измеренных осадков, выпавших из облаков ($P'' - P_1''$) в течение всего зимнего периода (на Диксоне — с ноября по апрель, на Мысе Шмидта — с октября по апрель). Следует также отметить своеобразие годового хода суммарной поправки на смачивание, испарение и конденсацию (ΔP) на этих станциях. Минимальные значения поправки, 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 ст. Мурманск вклад ложных осадков в общую погрешность невелик, и только в период с ноября по февраль величины P_1'' и ΔP соизмеримы. В теплый период (май—сентябрь) величина ΔP 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 ΔP в октябре—ноябре в Мурманске обусловлены увеличением доли смешанных осадков, выпадающих при высокой относительной влажности.

Значение и годовой ход ветровой поправки на всех трех рассмотренных станциях естественно соответствует значениям скорости ветра во время осадков и виду осадков.

На ст. Верхоянск, где отсутствуют метели и скорости ветра малы в течение всего года, практически вся суммарная погрешность определяется значением ΔP . 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. п. 1).

3.2. Бассейн Каспийского моря

На станциях бассейна Каспия суммарная годовая поправка на большей части рассматриваемой территории составляет около 22 % измеренного годового количества осадков и меняется сравнительно мало (от 17 до 25 %). Экстремальное значение 31 % (Оренбург) — обусловлено наибольшей скоростью ветра и наи-

меньшим количеством измеренных осадков. По абсолютной величине годовая поправка составляет около 110 мм, изменяясь в пределах от 92 до 130 мм.

Ветровая погрешность (δ_U) в целом за год всегда больше суммарной погрешности за счет смачивания, испарения и конденсации (ΔP). Исключение составляет Москва и Красноуфимск, где наблюдаются самые слабые ветры. В среднем по всему району δ_U составляет около 70 мм, но существенно меняется в зависимости от скорости ветра (от 40 до 84 мм).

Влияние метелей на результаты корректировки осадков заметно лишь в северной части района (Вологда, Вятка, Ижевск), где годовое значение ложных осадков P_f'' составляет 7—10 мм (не более 1—2 % годовой суммы P'').

Годовые циклы измеренных и исправленных осадков (см. рис. 1) идентичны, они имеют четкий летний максимум (чаще всего в июле) и весенний минимум (в марте), но годовая амплитуда после корректировки несколько уменьшается (в среднем на 2—4 мм).

Годовой ход каждой из поправок определяется годовым ходом соответствующих расчетных параметров: скорости ветра и вида осадков для ветровой поправки (δ_U), числом измерений осадков и относительной влажности воздуха для поправки на смачивание, испарение и конденсацию (ΔP) и, наконец, продолжительностью и интенсивностью метелей для расчета ложных осадков (P_f'').

3.3. Акватория Северного Ледовитого океана, дрейфующие станции

Скорректированное количество осадков в целом за год оказывается примерно на 1/3 больше измеренного. В среднем за весь период с конца 1955 до начала 1991 г. отношение $P/P'' = 1,28$; минимум (0,93) наблюдался в 1956 г., максимум (1,56) — в 1985 г. Вполне очевидно, что хотя при наблюдаемых скоростях ветра аэродинамический коэффициент весьма значителен, его влияние в большей мере компенсируется ложными осадками, количество которых также растет с увеличением скорости ветра и продолжительности метелей.

Количество ложных осадков в среднем за год составляет 38 мм, или 30 % среднего годового количества осадков. Максимум ложных осадков отмечался в 1956, 1957 и 1983 гг.; в эти годы он находился в пределах 75—90 мм. Соответственно в эти годы суммы измеренных и исправленных осадков практически одинаковы (отношение P/P'' близко к единице). Минимальные ложные осадки отмечены в 1985 г (20,2 мм); в этот же год наблюдается максимальное значение отношения P/P'' (1,56).

Среднее годовое значение поправки, учитывающей процессы испарения, конденсации и смачивания (ΔP) составляет 15,5 мм, или около 21 % значения P'' . Однако, как сказано выше, это значение несколько преуменьшено, так как поправка ΔP вводилась в суточные суммы осадков, а не в данные отдельных измерений. По этой же причине значения P'' несколько преувеличены по сравнению с фактически измеренными осадками.

Годовые ходы измеренных (P''), частично исправленных стандартной поправкой на смачивание ($P_{арх}$) и полностью скорректированных (P) осадков (см. рис. 3) практически идентичны. Годовой максимум в июле и годовой минимум в апреле остаются неизменными. Относительное значение суммарной погрешности измерения осадков $(P/P'' - 1) \cdot 100$ % меняется в течение года от 45—50 % в апреле—мае до 16 % в августе. При этом абсолютная величина суммарной погрешности ($P - P''$) меняется в течение года сравнительно мало; она составляет в среднем около 3,0 мм в месяц. Ее максимальные значения отмечаются в июле—августе (около 5 мм), минимальные — в феврале—марте (около 2 мм).

Количество ложных осадков составляет около половины измеренного количества зимой (с октября по март), оно постепенно уменьшается до полного отсутствия в июле.

Годовой ход поправки на смачивание ΔP заметно отличается, особенно летом, от годового хода стандартной поправки на смачивание ($P_{арх} - P''$). В летний период при высоких значениях относительной влажности, часто близких к 100 %, значительную роль играют процессы конденсации на стенках осадкомера и соответствующее уменьшение потерь на испарение и смачивание. В результате в июне—августе значение ΔP часто становится отрицательным. Напротив, значение стандартной поправки на

смачивание при жидких и смешанных осадках вдвое больше, чем при твердых, поэтому величина ($P_{арх} - P''$) в летние месяцы достигает максимальных значений.

Полученные в данной работе значения исправленных осадков существенно отличаются от соответствующих оценок Д. Янга для тех же станций СП [30]. Среднее многолетнее годовое количество осадков на станциях СП, по оценке Янга, составляет 256 мм, по нашей оценке — 169 мм. По-видимому, эти различия возникли главным образом из-за того, что автор не располагал исходными данными для расчета ложных осадков и не включил их в свою расчетную модель.

Достоверность полученных оценок исправленных осадков была проверена на основе их сопоставления с результатами определения водного эквивалента снежного покрова (SWE), приведенными в исследовании Уоррена и др. [28].

Величина SWE определена на тех же станциях СП по данным измерений высоты и плотности снежного покрова на маршрутных снегосъемках. По данным работы [28], значение SWE за период с октября по май составляет 83 мм. По нашим оценкам, исправленное количество осадков за этот период равно 85,6 мм. Среднее годовое количество осадков Уоррен и соавторы оценивают с учетом осадкомерных данных за июнь—сентябрь (исправленных только стандартной поправкой на смачивание), и считают его равным 164 мм. По нашей оценке, среднее годовое количество осадков на СП-станциях составляет 165 мм. Такое близкое совпадение результатов, полученных независимыми методами, надежно подтверждает их достоверность.

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 в конкретные сроки, в том числе при измерении незначительного количества осадков, обозначенного как 0,0 мм (следы) и с учетом погрешности, обусловленной попаданием в осадкомер ложных осадков, поднятых ветром с поверхности снежного покрова во время сильных метелей.

Алгоритм и программа корректировки позволяют осуществлять расчет исправленных осадков за короткие промежутки времени — за сутки или за отдельные сроки измерения осадков (за 12 или 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.

Основные результаты применения данной методики для корректировки осадков в полярных районах РФ следующие.

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

На станциях с наиболее сильными ветрами, продолжительными метелями и большим радиусом снегосборного бассейна суммарная годовая поправка существенно уменьшается за счет 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 завышенными весьма значительно.

Следует признать, что и в методике, представленной в данной работе, достоверность определения количества 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 (исключающему «надувание» ложных осадков) непосредственно на станциях арктического региона с интенсивными метелями.

Данная работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 99-05-65271 и

02-05-64834) и Национального научного фонда США (грант ОРР-9908812).

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. М.: Изд-во РАН, 1997. 392 с.
2. Богданова Э. Г. Метод косвенного расчета средних многолетних величин продолжительности осадков // Метеорология и гидрология. 1980. № 6. С. 33—37.
3. Богданова Э. Г., Голубев В. С., Ильин Б. М., Драгомилова И. В. Новая модель корректировки измеренных осадков и ее применение в полярных районах РФ // Метеорология и гидрология. 2002. № 10. С. 68—93.
4. Голубев В. С., Коновалов Д. А., Богданова Э. Г., Ильин Б. М. Полная модель корректировки осадкомерных данных; методика и алгоритм оценки систематических составляющих погрешности // WMO, Instruments and observing methods, Report N 74, WMO/TD. 2000, N 1028. P. 136—139.
5. Голубев В. С. Изучение точности учета атмосферных осадков // Труды ГГИ. 1969. Вып. 176. С. 149—164.
6. Голубев В. С. Методика корректировки срочных и месячных величин атмосферных осадков и результаты ее поверки // Труды ГГИ. 1973. Вып. 207. С. 11—27.
7. 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.
8. 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.
9. Дюнин А. К. Механика метелей. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963. 378 с.
10. Климатологический справочник СССР. Ч. 1. История и физико-географическое описание метеорологических станций. Вып. 1, 2, 17, 21, 24, 33. 1968—1970.
11. Котляков В. М. Снежный покров Антарктиды и его роль в современном оледенении материка. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 243 с.
12. Лебедев А. Н. Продолжительность дождей на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 510 с.
13. Метеорологический ежемесячник. Ч. 1. 1962—1990.
14. Метеорологический ежемесячник. Ч. 2. Вып. 1, 2, 17, 21, 24, 33. 1966—1990.
15. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 638 с.
16. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч. I. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 300 с.

17. Разуваев В. Н., Апасова Е. Г., Мартуганов Р. А. Шести- и трехчасовые метеорологические наблюдения по данным 223 станций СССР. Обнинск. ВНИИГМИ—МЦД. 1995. 69 с.
18. Справочник по климату СССР. Ч. IV. Вып. 1—34. Л.: Гидрометеозидат, 1965—1970.
19. Справочник по климату СССР. Данные за отдельные годы. Ч. 3. Снежный покров. Вып. 1, 2, 17, 21, 24, 33. 1970—1975.
20. Струзер Л. Р. Анализ возможности использования результатов международных сравнений осадкомеров // Труды ГГО. 1971. Вып. 260. С. 77—96.
21. Струзер Л. Р. Основные недостатки и пути улучшения методов измерения атмосферных осадков // Труды ГГО. 1965. Вып. 175. С. 5—23.
22. Струзер Л. Р., Голубев В. С., Горбунова И. Г. Предварительные результаты сравнений осадкомеров // Метеорология и гидрология. 1966. № 11. С. 53—57.
23. Струзер Л. Р., Нечаев И. Н., Богданова Э. Г. Систематические погрешности измерения атмосферных осадков // Метеорология и гидрология. 1965. № 10. С. 50—54.
24. 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.
25. Golubev V. S., Bogdanova E. G. Point measurements of solid precipitation // Proc. of Workshop on the ACSYS Solid Precipitation Climatology Project. Reston, VA, USA. September 1995. WMO/TD. 1996. N 739. P. 18—29.
26. Golubev V. S., Bogdanova E. G., Simonenko A. Yu. The effect of blizzards on the correction method of precipitation data in Arctic region // 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. 1997. N 804. P. 74—79.
27. Poncelet L. Comparison of rain gauges // WMO Bulletin. 1959. Vol. VIII, N 4. P. 3—58.
28. Warren S. G., Rigor I. G., Untersteiner N. et al. Snow Depth on Arctic Sea Ice // J. Clim. 1999. Vol. 12. P. 1814—1829.
29. WMO. Instruments and Observing Methods. Report N 67. WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison. Final Report. WMO/TD. 1998. N 872. 300 p.
30. Yang D. An Improved Precipitation Climatology for the Arctic Ocean // Geophysical Research Lett. 1999. Vol. 26. P. 1625—1628.