

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

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

06
T78

Т Р У Д Ы

ВЫПУСК 230

1001227

КОНТРОЛЬ
И ПЕРВИЧНЫЙ АНАЛИЗ
РЕЗУЛЬТАТОВ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
НАБЛЮДЕНИЙ

Под редакцией
канд. физ.-мат. наук Д. П. БЕСПАЛОВА

БИБЛИОТЕКА
Ленинградского
Гидрометеорологического
Института



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1968

Основное содержание сборника составляют статьи по результатам разработки объективных методов контроля и первичного анализа наблюдений сети станций и приложению разработанной методики к материалам наблюдений сети Северо-Западного УГМС, УГМС Центральных областей и УГМС БССР. В отдельных статьях приводятся результаты исследований статистической структуры полей метеорологических элементов по данным как обычной сети станций и постов, так и специальных сгущений пунктов наблюдений (полигонов).

Ряд статей посвящен усовершенствованию методики наблюдений (включая и теплобалансовые наблюдения) на сети станций и некоторым вопросам приложения результатов.

Сборник рассчитан на инженеров-метеорологов и климатологов ГМО, работников УГМС и станций, а также может быть использован как дополнительное пособие студентами старших курсов специальных вузов и техникумов.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Одним из звеньев разрабатываемой системы комплексной автоматизации гидрометеорологической службы СССР [1] должен явиться автоматический контроль информации, поступающей с метеорологических станций.

Вопросам объективного анализа метеорологических полей в свободной атмосфере посвящен ряд работ. Исследование возможностей применения электронной вычислительной машины (ЭВМ) для целей контроля приводится в работе [2]. Однако анализ данных наземных станций значительно сложнее, так как анализируемые поля не являются статистически однородными и изотропными. Это приводит к существенным затруднениям при выборе объективных критериев, которые позволили бы сделать однозначное заключение об истинности или ошибочности значения элемента, особенно когда анализируемые станции находятся в разных физико-географических условиях.

В последние годы в ГГО проводились исследования по выяснению возможностей контроля осредненных значений основных метеорологических элементов у земли с помощью ЭВМ «Урал-4», результаты которых приведены в настоящем сборнике и в работах [3, 4, 5, 6]. Эти исследования базировались на разработанной в последнее время теории интерполяции стационарных случайных функций. Исходными данными служили осредненные значения основных метеорологических элементов по станциям Северо-Западного УГМС и УГМС Центральных областей.

Полученные в указанных выше работах эмпирические оценки невязок интерполяции и сопоставление их с теоретическими на сравнительно большом материале дали возможность уточнить приемы контроля по каждому элементу.

Это позволило сотрудникам методического отдела ГГО в 1967 г. провести экспериментальную проверку методики анализа наземных данных на материале наблюдений станций УГМС Белорусской ССР. В качестве основного материала использовались наблюдения 48 станций за 1956—1960 гг. по следующим элементам: атмосферное давление на уровне моря, температура воздуха, относительная влажность воздуха, упругость водяного пара, количество облаков, скорость ветра, продолжительность солнечного сияния. Рассматривались осредненные значения за сроки наблюдений 1 и 13 час., а также средние суточные значения за январь и июль.

Для анализа данных за последние годы необходимо определить новые климатические нормы в связи с введением в последнее время системы восьмисрочных наблюдений.

Можно предполагать, что указанная методика оправдывает себя и при анализе данных за восемь сроков по московскому времени, принятых на сети с 1966 г. Однако следует иметь в виду, что различия во времени производства наблюдений в некоторых районах могут существенно изменить результат интерполяции, так как различия во времени приводят к значительным расхождениям в значениях метеорологических элементов. Поэтому для анализа восьмисрочных наблюдений необходимо, помимо пространственной интерполяции, привлекать временную.

Экспериментальная проверка методики по материалам наблюдений станций УГМС БССР подтвердила выводы, сделанные на основании анализа данных станций СЗ УГМС и УГМС ЦО, о возможности проведения контроля основных метеорологических элементов на ЭВМ.

В табл 1 приведены повторяемости значений невязок интерполяции, приведенных к значениям невязок фиксированной обеспеченности с целью их максимальной сопоставимости, величины средней квадратической невязки интерполяции σ и значения критериев надежности данных K , применяемых в настоящее время при контроле материалов, производимом вручную [7].

Таблица 1

Невязки пространственной интерполяции различной обеспеченности

Элементы		Срок наблюдений		Обеспеченность, %					σ	K
		месяц	часы	25	50	75	90	95		
Атмосферное давление, мб	I			—	0,13	0,25	0,37	0,43	0,20	0,50
	VII			—	0,12	0,22	0,36	0,42	0,20	
Температура воздуха, град.	I			—	0,11	0,20	0,32	0,38	0,20	0,50
	VII			—	0,13	0,24	0,28	0,41	0,21	
Упругость водяного пара, мб	I	1		0,00	0,01	0,05	0,10	0,13	0,10	0,30
		13		0,00	0,01	0,06	0,11	0,15	0,11	
	VII	1		0,04	0,15	0,29	0,40	0,47	0,26	0,50
		13		0,08	0,22	0,45	0,60	0,70	0,33	
Относительная влажность, %	I	1		0,00	0,60	1,30	2,00	3,00	1,80	3,0
		13		0,10	0,60	1,50	2,40	3,30	1,80	
	VII	1		0,30	1,20	2,40	3,40	4,00	2,50	
		13		0,20	1,00	2,00	3,50	4,50	2,40	
Скорость ветра, м/сек.	I	ср. за сутки		0,14	0,30	0,53	0,75	0,90	0,46	1,0
	VII	то же		0,10	0,22	0,38	0,59	0,74	0,35	
Продолжительность солнечного сияния в % от месячной суммы	VI			2	3	6	11	14	9	20
Количество общей облачности, баллы	I	13		0,03	0,13	0,28	0,50	0,63	0,37	1,0
		ср. мес.		0,02	0,05	0,18	0,39	0,52	0,30	
	VI	13		0,04	0,15	0,38	0,58	0,68	0,41	
		ср. мес.		0,03	0,07	0,22	0,43	0,58	0,34	
Количество нижней облачности, баллы	I	13		0,10	0,24	0,52	0,78	0,94	0,62	1,5
		ср. мес.		0,05	0,17	0,43	0,78	1,00	0,61	
	VI	13		0,08	0,22	0,50	0,85	1,05	0,62	
		ср. мес.		0,05	0,17	0,43	0,84	1,05	0,63	

Невязки интерполяции атмосферного давления, температуры воздуха, скорости ветра и облачности, как видно из табл. 2, менее чем в 5% случаев превышают принятые критерии, по солнечному сиянию и относительной влажности менее чем в 10% случаев.

Таблица 2

Повторяемость (%) невязок интерполяции

Элементы	Месяц	$\leq K$	$> K$	K
Атмосферное давление, мб	I	97	3	0,50
	VII	99	1	
Температура воздуха, град.	I	97	3	0,50
	VII	98	2	
Упругость водяного пара, мб	I	98	2	0,30
	VII	77	23	
Относительная влажность за 13 час., %	I	95	5	3,0
	VII	93	7	
Скорость ветра, ср. сут., м/сек.	I	97	3	1,0
	VII	99	1	
Продолжительность солнечного сияния, в % от месячной суммы	I	98	2	20,0
	VII			
Количество общей облачности, баллы	I	99	1	1,0
	VII	100	0	
Количество нижней облачности, баллы	I	97	3	1,5
	VII	99	1	

Все случаи, когда невязки интерполяции превышают допуск, должны быть проверены по ежедневным данным в соответствии с требованиями, изложенными в [7].

Дополнительный анализ больших величин невязок по продолжительности солнечного сияния в зимние месяцы показал, что они, как правило, вызваны плохим качеством наблюдений. Наблюдатели не следили за состоянием шара гелиографа, что привело к существенному занижению месячных сумм.

Если результаты наблюдений забракованы, их нельзя привлекать для анализа соседних станций. В отдельных случаях можно рекомендовать заменить забракованное значение интерполированным и произвести интерполяцию заново. Однако это не может заменить наблюдаемых значений и не всегда приводит к уменьшению погрешности интерполяции. Для примера приведена табл. 3, в которой помещены невязки интерполяции, полученные при исключении ошибочных данных и при замене забракованного значения интерполированным.

В целом предельные значения невязок данных по материалам Белорусского УГМС несколько ниже, чем по материалам СЗ УГМС и УГМС ЦО (см. стр. 50). В значительной мере это объясняется тем, что для анализа материалов наблюдений станций Белорусского УГМС были привлечены данные окружающих станций УГМС ЦО, Украинской, Литовской и Латвийской ССР, а также СЗ УГМС. Насколько изменяются значения невязок при использовании дополнительной информации, видно из табл. 4, где сравниваются результаты интерполяции данных только станций Белорусского УГМС с результатами интерполяции с привлечением окружающих станций.

Уменьшения невязок интерполяции можно достигнуть путем подбора станций, имеющих сходные физико-географические условия с интерполируемой. Но для этого необходимо изучить влияние особенностей местоположения станций на распределение метеорологических элементов.

Таблица 3

Невязки интерполяции относительной влажности (%)
при наличии брака в данных на ст. Октябрь.
Июль, 13 час., 1958 г.

Станция	Данные		
	учтены	исключены	заменены интерполи- рованной величиной
Октябрь	6,9	—	0,0
Слуцк	3,4	2,1	2,3
Марына Горка	0,6	0,6	0,6
Бобруйск	1,9	1,3	1,1
Жлобин	1,0	0,0	0,3
Житковичи	3,7	2,3	2,4

Таблица 4

Изменение невязки интерполяции Δf при привлечении
данных станций соседних УГМС. Январь 1956 г.

Станция	Атмосферное давление, %		Относительная влаж- ность в 13 час., %	
	без краевых станций	с привлече- нием краевых станций	без краевых станций	с привлече- нием краевых станций
Верхнедвинск	1,16	0,57	3,2	0,6
Витебск	0,23	0,17	0,4	0,1
Лынтупы	0,51	0,18	—	—
Лида	0,16	0,12	2,1	1,0
Костюковичи	0,32	0,16	0,3	0,0
Брест	0,60	0,02	0,0	0,0
Гомель	0,17	0,13	—	—
Брагин	0,16	0,12	6,8	1,9

Попытка использовать для интерполяции группировки станций, отобранные Белорусским УГМС по принципу сходства местных условий, не дала ожидаемого улучшения результата. Средние квадратические невязки интерполяции температуры воздуха за июль 1956—1960 гг. по станциям, ближайшим к рассматриваемым, и по станциям, имеющим сходные местные особенности, оказались равными и составляют каждая 0,20°.

Проведенный эксперимент позволяет сделать следующие выводы:

1. Метод пространственной линейной интерполяции пригоден для контроля осредненных значений основных метеорологических элементов на станциях, расположенных в равнинной местности.

2. При анализе данных в некотором районе необходимо привлекать наблюдения станций других районов, граничащих с рассматриваемым.

3. Поскольку превышение допустимых критериев может быть обусловлено не только ошибочностью данных, но и особенностями погодных

условий данного года, не представляется возможным в ближайшее время полностью автоматизировать процесс контроля. Сомнительные данные должны анализироваться специалистом в соответствии с рекомендациями, изложенными в [7]. Забракованные данные следует исключить и произвести интерполяцию заново.

4. Дальнейшее усовершенствование методики следует вести в направлении улучшения подбора станций для интерполяции с учетом местных особенностей. Целесообразно привлечь дополнительные методы контроля — временную интерполяцию, связь с другими элементами.

5. Необходимо также выявить, какие изменения следует внести в методику анализа данных метеорологических наблюдений в связи с переходом с января 1966 г. на новые сроки наблюдений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров Е. К. Состояние и перспективы развития гидрометеорологической службы СССР. Метеорология и гидрология, № 3, 1963.
2. Гандин Л. С. Объективный анализ метеорологических полей. Гидрометеониздат, Л., 1963.
3. Берлин И. А., Каган Р. Л. К вопросу об автоматизации контроля метеорологических данных. Труды ГГО, вып. 194, 1966.
4. Светлова Т. П. Исследование статистической структуры полей температуры воздуха и давления. Труды ГГО, вып. 194, 1966.
5. Светлова Т. П. Контроль полей среднего месячного давления и средней месячной температуры у земли с помощью ЭВМ «Урал-4». Труды ГГО, вып. 214, 1967.
6. Берлин И. А., Школяр Л. Ф. К вопросу о контроле данных влажности воздуха. Труды ГГО, вып. 194, 1966.
7. Руководство по первичной обработке материалов метеорологических наблюдений. Гидрометеониздат, Л., 1957.

ОПЫТ КРИТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ЭВМ «УРАЛ-4»

Термический режим каждого пункта зависит от ряда факторов: географической широты, высоты над уровнем моря, формы рельефа, экспозиции склона, характера растительности, близости к водным бассейнам,

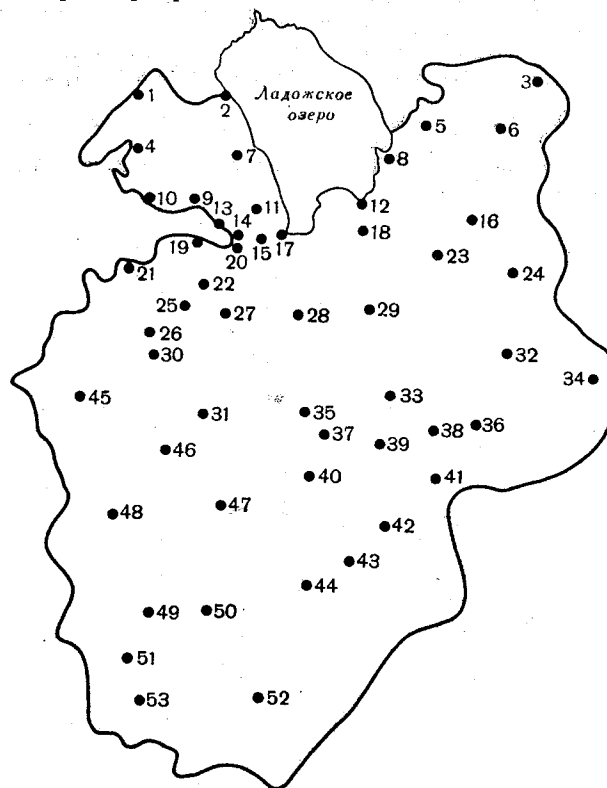


Рис. 1. Схема расположения станций, использованных
для анализа.
Названия станций см. табл. 1.

а также от характера атмосферной циркуляции. Однако несмотря на столь большое число указанных факторов облегчают обработку и обобщение данных по температуре следующие особенности: 1) большая зако-

номерность распределения температуры в пространстве и 2) большая площадь температурных аномалий одного знака [1].

Именно эти особенности позволяют применить программу линейной интерполяции для критического анализа результатов измерения температуры воздуха на сети станций. Так же как и в [2], анализ заключался в интерполяции значений температуры на каждую станцию по данным шести ближайших станций и сравнении интерполированных значений с фактическими (измеренными). Для исключения влияния местных особенностей расположения станций интерполировались не сами средние месячные значения температуры, а отклонения их от нормы.

В качестве исходных данных использовались значения средней месячной температуры воздуха на 53 станциях Северо-Западного УГМС за 1955—1965 гг. для февраля и августа и за 1961—1965 гг. для апреля и ноября. Схема расположения станций приводится на рис. 1.

Исходные значения температуры не содержали ошибочных данных, так как они выписывались из таблиц ТМ-1, уже прошедших технический контроль и критический просмотр в УГМС. Нормы средней месячной температуры были взяты из [3].

Разности между интерполированным и фактическим значениями средней месячной температуры воздуха, или невязки интерполяции Δf для одного из исследуемых месяцев, а также расстояние до влияющих станций приводятся в табл. 1. Теоретическая ошибка интерполяции $\sqrt{E}$ рассчитывалась с учетом ошибки наблюдения за элементом в точке. Как показывают данные табл. 1, изменчивость невязок интерполяции велика. Однако по этим данным выявить какую-либо закономерность их изменения в пространстве и времени невозможно. В табл. 2 приводится распределение невязок интерполяции по грациям отдельно для каждой исследованной ситуации по выбранным месяцам. Статистический анализ невязок интерполяции (табл. 3) показывает, что 10% общего числа случаев превосходит значение $\Delta f = 0,5^\circ$, принятое за критерий браковки данных средней месячной температуры при ручном контроле [4].

Исключение крайних станций существенно улучшает результаты интерполяции (табл. 3 и 4). Например, в ноябре после исключения крайних станций все невязки интерполяции оказались меньше $0,5^\circ$.

Появление больших невязок, по-видимому, можно объяснить следующим: а) большой удаленностью влияющих станций от интерполируемой, б) несимметричным положением влияющих станций относительно интерполируемой. Так, например, для нахождения интерполированного значения на ст. Вознесенье (табл. 1) привлекаются 5 станций, расположенных на расстоянии более 100 км. Для ст. Петрокрепость все влияющие расположены в северо-западном направлении. При таком расположении характерно появление в отдельные годы больших невязок интерполяции Δf , несмотря на то что среднее расстояние до интерполируемой станции составляет всего 45 км.

Таким образом, точность интерполяции будет значительно выше, если брать для анализа станции из районов, смежных с рассматриваемым, и подбирать влияющие станции так, чтобы они, по-возможности, располагались равномерно вокруг интерполируемой. Можно также использовать в качестве критерия для выбора влияющих станций не близость к интерполируемой, а сходство физико-географических условий, т. е. отбирать влияющие станции по максимальной коэффициентов корреляции. Однако в этом случае необходимо четко представлять структуру анализируемого поля, так как от надежности установленных корреляционных связей будет зависеть точность интерполяции.

Расстояния до влияющих и невязки интерполяции средней месячной температуры по станциям СЗ УГМС.
Август 1961—1965 гг.

№ станции	Станция	Высота н. у. м., м	Расстояние до влияющих, км						$\sqrt{E}$	Невязки интерполяции Δf град.						
			среднее расстоя- ние, км							1961	1962	1963	1964	1965	средняя абс.	
			1	2	3	4	5	6								
1	Лесогорский	39	37	65	91	92	95	126	84	0,20	0,07	-0,43	-0,28	-0,50	-0,38	0,33
2	Приозерск	9	55	65	84	91	99	110	84	0,24	-0,59	-0,13	-0,12	0,23	0,29	0,27
3	Вознесенье	37	64	112	139	156	175	187	139	0,32	0,21	0,13	0,21	0,16	0,01	0,14
4	Выборг	14	37	57	72	84	88	102	73	0,17	0,39	0,71	0,55	0,55	0,59	0,56
5	Лодейное Поле	21	45	69	92	95	111	112	84	0,20	0,10	-0,08	-0,26	-0,37	-0,09	0,18
6	Винницы	109	64	69	76	104	119	123	92	0,17	-0,24	0,10	-0,19	-0,16	-0,26	0,19
7	Сосново	68	44	50	55	62	65	70	58	0,16	0,11	-0,21	0,19	-0,20	-0,44	0,23
8	Свирица	7	45	50	68	92	98	104	76	0,17	-0,23	-0,34	0,09	0,10	-0,16	0,18
9	Рошино	96	32	35	38	49	50	50	42	0,13	0,66	0,58	0,08	0,53	0,62	0,49
10	Озерки	4	35	50	55	57	58	77	55	0,14	-0,96	-0,56	-0,38	-0,25	-0,24	0,48
11	Токсово	111	25	26	32	36	38	45	34	0,12	0,05	0,33	-0,05	0,14	0,26	0,17
12	Новая Ладога	12	20	50	73	86	92	93	67	0,14	0,13	0,14	-0,08	0,10	0,01	0,09
13	Лисий Нос	3	15	19	19	32	36	39	27	0,10	-0,37	-0,17	0,36	-0,15	0,17	0,24
14	Ленинград	2	6	19	22	26	29	42	24	0,09	-0,02	0,04	-0,20	0,00	-0,07	0,07
15	Воейково	72	20	22	25	25	41	51	31	0,11	-0,03	0,24	-0,14	0,06	0,11	0,12
16	Шугозеро	89	49	57	76	92	92	106	78	0,15	-0,06	-0,36	-0,29	-0,35	-0,01	0,21
17	Петрокрепость	6	20	38	42	45	61	66	45	0,18	-0,04	-0,41	0,46	-0,05	0,01	0,19
18	Волхов	32	20	68	70	73	77	87	66	0,14	-0,00	0,05	0,03	0,02	0,02	0,02
19	Ломоносов	2	15	26	28	29	38	51	31	0,12	-0,06	-0,19	0,06	-0,25	-0,55	0,22
20	Невская	3	6	19	25	26	32	36	24	0,10	0,05	-0,16	0,16	-0,11	-0,18	0,13

21	Старое Гарколово	9	48	50	62	64	68	73	61	0,17	0,23	-0,11	0,27	-0,13	0,39	0,23
22	Кипень	122	28	33	36	39	39	42	36	0,12	0,09	0,03	0,03	0,10	-0,01	0,05
23	Тихвин	59	49	67	74	77	86	98	75	0,16	-0,15	-0,03	-0,21	-0,38	0,62	0,29
24	Ефимовская	171	57	67	67	117	119	129	93	0,17	0,13	0,05	0,30	0,24	0,17	0,18
25	Волосово	127	33	37	51	52	56	62	48	0,13	0,08	0,06	-0,19	0,11	0,43	0,17
26	Кингисепп	17	48	48	51	78	82	87	66	0,15	0,16	0,19	-0,28	0,05	0,12	0,16
27	Белогорка	89	37	39	63	64	66	69	56	0,16	-0,17	-0,03	-0,03	-0,17	-0,16	0,11
28	Любань	36	64	66	68	74	85	87	74	0,18	0,06	0,04	0,23	0,19	0,10	0,12
29	Будогощь	53	68	69	73	74	93	100	80	0,16	0,25	0,02	-0,06	-0,09	-0,15	0,19
30	Осьмино	51	48	52	65	70	79	83	66	0,15	-0,01	-0,10	-0,07	-0,07	-0,03	0,05
31	Николаевское	91	53	65	84	84	89	98	79	0,16	0,04	0,17	-0,00	0,11	0,10	0,08
32	Хвойная	162	65	67	74	92	100	103	85	0,16	0,18	0,08	0,10	-0,02	-0,01	0,08
33	Веребье	113	39	44	69	70	77	82	64	0,15	0,09	0,19	0,02	0,09	0,21	0,12
34	Охоты	149	74	102	117	137	154	165	125	0,35	-0,02	0,13	0,00	0,41	0,33	0,18
35	Повгород	24	26	54	72	84	92	95	70	0,15	-0,33	-0,42	-0,35	-0,30	-0,31	0,34
36	Боровичи	89	35	61	65	70	84	102	69	0,15	0,06	-0,01	0,18	-0,01	-0,02	0,06
37	Войцы	22	26	43	50	77	94	98	65	0,13	0,22	0,22	0,33	0,41	0,36	0,31
38	Окуловка	173	35	44	45	49	92	95	60	0,14	-0,05	0,15	0,02	0,13	0,13	0,10
39	Крестцы	62	39	49	50	64	72	79	59	0,14	-0,10	-0,34	0,19	-0,21	-0,17	0,20
40	Старая Русса	24	43	54	79	79	84	91	72	0,15	0,13	0,03	0,24	0,10	0,08	0,12
41	Валдай	201	45	59	61	64	82	101	69	0,17	0,01	0,03	-0,31	-0,20	0,04	0,12
42	Демянск	61	43	59	79	82	94	95	75	0,16	0,11	-0,07	-0,02	0,04	-0,01	0,05
43	Марев	101	43	58	91	101	120	121	89	-0,20	-0,20	-0,11	-0,00	-0,30	-0,13	0,15
44	Холм	70	58	79	92	95	97	105	88	0,17	0,12	0,20	0,23	0,28	-0,05	0,18
45	Гдов	36	79	82	92	110	117	123	100	0,26	-0,23	-0,05	0,42	0,13	-0,04	0,17
46	Струги-Красные	127	53	69	71	83	92	126	82	0,16	0,34	0,06	0,19	0,29	0,09	0,19
47	Дно	68	71	84	84	91	96	105	88	0,17	0,11	-0,05	-0,05	0,10	-0,02	0,07
48	Нсков	42	69	93	96	110	121	123	102	0,20	0,21	0,07	-0,16	-0,02	0,10	0,11
49	Пушкинские Горы	108	35	61	78	93	109	125	83	0,16	0,01	0,05	-0,08	-0,14	0,05	0,11
50	Сушево	108	61	79	79	81	91	98	82	0,16	-0,21	-0,13	0,04	0,01	0,17	0,11
51	Опочка	97	35	46	79	121	123	143	91	0,16	0,08	-0,09	-0,08	0,12	0,17	0,11
52	Великие Луки	97	81	92	105	121	125	138	110	0,31	-0,37	-0,02	-0,30	-0,11	-0,20	0,22
53	Идрица	136	46	78	98	105	167	168	110	0,23	0,19	0,04	0,33	0,11	0,21	0,18

Таблица 2

Распределение по градациям невязок интерполяции средней месячной температуры
для ситуаций по выбранным месяцам 1955—1965 гг.

Годы	Невязки интерполяции Δf град.									σ^2	σ
	0,00— 0,09	0,10— 0,19	0,20— 0,29	0,30— 0,39	0,40— 0,49	0,50— 0,59	0,60— 0,69	0,70— 0,79	>80		
Февраль											
1955	17	14	10	4	2	2	1		2	0,096	0,31
1956	5	19	9	8	3	3	2	1	2	0,121	0,35
1957	19	17	10	2	2	2				0,041	0,20
1958	21	12	12		2	2	3	1		0,069	0,26
1959	11	16	8	7	6	3	1		1	0,096	0,31
1960	13	20	9	9	2					0,049	0,22
1961	13	13	11	6	5	3	2			0,084	0,29
1962	17	9	14	4	3	3	2	1		0,079	0,27
1963	8	14	8	8	5	3	3	1	3	0,151	0,39
1964	15	16	8	6	3	2	1	1	1	0,081	0,28
1965	19	13	9	5	3	1	1		2	0,095	0,31
Апрель											
1961	13	11	6	9	3	2	4	3	2	0,153	0,39
1962	17	20	7	3	3	2	1			0,056	0,24
1963	16	10	9	8	7		2	1		0,085	0,29
1964	19	14	15	1	1	2	1			0,046	0,21
1965	17	7	10	12	1	2	2		2	0,143	0,38
Август											
1955	8	9	13	11	5	1	2		3	0,138	0,37
1956	14	15	15	3	1	1	2	1		0,065	0,26
1957	13	18	13	5	3	1				0,039	0,20
1958	18	17	13	3	1	1				0,036	0,19
1959	9	17	9	12	2	2	2			0,075	0,27
1960	17	14	9	8	4	1				0,056	0,24
1961	21	14	10	5		1	1		1	0,060	0,25
1962	22	16	5	4	3	2		1		0,053	0,23
1963	19	11	11	8	3	1				0,055	0,23
1964	13	21	9	5	2	3				0,051	0,23
1965	19	16	7	5	2	2	2			0,061	0,25
Ноябрь											
1961	22	13	9	5	3	1				0,042	0,21
1962	14	13	15	8		3				0,059	0,24
1963	14	15	8	8	5	1	2			0,072	0,27
1964	16	16	9	10		2				0,052	0,23
1965	12	13	12	6	8				2	0,097	0,31

Таблица 3

Распределение по градациям (первая строка) и обеспеченность в процентах (вторая строка) невязок интерполяции средней месячной температуры и средняя квадратическая невязка σ

Месяц	Число ситуаций	Невязки интерполяции Δf град.									σ^2	σ
		0,00— 0,09	0,10— 0,19	0,20— 0,29	0,30— 0,39	0,40— 0,49	0,50— 0,59	0,60— 0,69	0,70— 0,79	>80		
По всем станциям области (53 станции)												
II	11	158 27	163 55	108 74	59 84	36 90	24 94	16 97	5 98	11 100	0,088	0,29
IV	5	82 32	62 54	47 72	33 80	15 86	8 93	10 97	4 98	4 100	0,096	0,30
VIII	11	173 29	168 58	114 78	69 90	26 94	16 97	9 98	2 99	4 100	0,063	0,25
XI	5	78 28	70 56	53 76	37 90	16 95	7 98	2 99	2 100		0,065	0,25
По внутренним станциям (26 станций)												
II	11	73 26	82 54	62 75	27 85	15 90	14 95	6 97	2 98	5 100	0,078	0,28
IV	5	40 31	34 57	23 74	15 86	5 90	4 93	7 98	1 99	1 100	0,080	0,28
VIII	11	100 35	71 59	55 79	34 91	13 95	7 98	5 99		1 100	0,057	0,24
XI	5	45 34	38 63	26 84	16 96	5 100					0,044	0,21

Имевшиеся в распоряжении автора корреляционные функции [5] не могли быть использованы для отбора влияющих станций, потому что для их построения привлекались не все станции СЗ УГМС и осреднение коэффициентов корреляции по градациям производилось в процессе счета. В связи с этим не было возможности установить индивидуальные связи каждой пары. Кроме того, нормированные корреляционные функции рассчитывались до расстояний около 2000 км, поэтому точность сведений о поведении их при малых расстояниях (с которыми мы сталкиваемся при интерполяции в условиях более густой сети) могла оказаться недостаточной. Возникла необходимость получить новые коэффициенты автокорреляции. Для того чтобы вновь полученная матрица коэффициентов автокорреляции удовлетворяла условию положительной определенности и, следовательно, была пригодна для оптимальной интерполяции, вычисления производились только на материале тех станций, которые имели общий продолжительный период наблюдений. На исследуемой территории удалось отобрать 18 станций, продолжительность общего периода наблюдений на которых оказалась равной 24 годам. Расчет велся на машине «Урал-4».

По полученным коэффициентам корреляции были найдены «влияющие» каждой из 18 станций и рассчитывались невязки интерполяции для двух вариантов отбора: 1) по минимальному расстоянию; 2) по максимальному коэффициенту корреляции.

Таблица 4

Распределение по градациям невязок интерполяции
для внутренних станций по выбранным месяцам 1955—1965 гг.

Годы	Невязки интерполяции Δf град.									σ^2	σ
	0,00— 0,09	0,10— 0,19	0,20— 0,29	0,30— 0,39	0,40— 0,49	0,50— 0,59	0,60— 0,69	0,70— 0,79	>80		
Февраль											
1955	9	9	5	2		1				0,039	0,20
1956	1	9	6	4		2	1	1	2	0,155	0,39
1957	12	9	2	2		1				0,033	0,18
1958	9	9	8							0,028	0,17
1959	6	9	4	3	2	2				0,060	0,25
1960	5	9	7	3	2	1				0,052	0,23
1961	8	6	5	2	3	2				0,067	0,26
1962	4	6	9	3	1	2	1			0,081	0,28
1963	4	6	5	2	4	1	2	1	1	0,144	0,38
1964	7	6	6	2	1	2	1		1	0,097	0,31
1965	8	4	5	4	2	1	1		1	0,105	0,32
Апрель											
1961	7	5	5	5	1	1	1	1		0,093	0,31
1962	10	10	3	1		1	1			0,050	0,22
1963	5	8	3	4	4		2			0,096	0,31
1964	12	7	6				1			0,034	0,18
1965	6	4	6	5		2	2		1	0,127	0,36
Август											
1955	5	4	8	7		1				0,092	0,32
1956	9	6	9		1		1		1	0,049	0,22
1957	5	7	7	3	3					0,061	0,25
1958	8	8	7	3						0,035	0,19
1959	6	7	5	4	1	2	1			0,084	0,29
1960	11	8	1	4	2	1				0,057	0,24
1961	15	5	3	2		1				0,031	0,18
1962	10	6	4	3	2	1				0,052	0,23
1963	11	4	6	3	2					0,053	0,23
1964	10	8	3	3	1	1	2			0,054	0,23
1965	10	8	2	2	1	1				0,074	0,27
Ноябрь											
1961	13	6	4	3						0,025	0,16
1962	9	10	4	3						0,032	0,18
1963	7	7	7	3	2					0,051	0,23
1964	9	8	5	4						0,037	0,19
1965	7	7	6	3	3					0,057	0,34

Таблица 5

Невязки интерполяции фактического значения средней месячной температуры с интерполированными по влияющим по расстоянию (1) и по коэффициенту корреляции (2) за 1961—1965 гг.

Станция	Невязки интерполяции Δf , град.											
	$\sqrt{E}$		1961		1962		1963		1964		1965	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Воровичи	0,34	0,38	-0,13	-0,05	-0,12	-0,20	-0,23	-0,07	0,55	0,52	-0,48	-0,61
Веребье	0,17	0,19	0,10	0,07	0,18	0,17	0,19	0,21	-0,25	0,23	0,36	0,30
Волхов	0,25	0,16	0,05	0,17	0,29	0,03	0,16	0,16	0,16	0,38	0,14	-0,02
Вознесенье	0,46	0,46	0,41	0,36	-0,19	0,29	0,20	0,29	0,02	0,02	-0,03	-0,03
Гдов	0,25	0,33	-0,40	-0,48	0,26	0,31	0,09	-0,16	0,10	0,27	0,06	0,05
Дно	0,21	0,21	0,08	0,19	0,03	0,00	-0,04	0,05	0,12	0,06	-0,08	-0,03
Кингисепп	0,15	—	0,20	—	0,18	—	0,25	—	0,17	—	0,24	—
Ленинград	0,12	0,11	0,12	-0,12	0,20	0,19	-0,21	-0,25	-0,15	-0,04	0,12	0,12
Невская	0,13	0,11	0,06	0,12	-0,01	-0,08	-0,04	-0,09	-0,45	-0,34	0,09	0,10
Ломоносов	0,12	0,13	0,06	0,19	0,26	-0,35	0,23	0,14	-0,14	-0,08	0,19	-0,11
Лисий Нос	0,16	0,13	-0,06	-0,12	0,24	0,25	0,19	0,14	0,14	0,26	-0,06	-0,09
Новая Ладога	0,13	0,13	-0,03	-0,02	-0,04	-0,05	0,02	0,01	0,02	-0,01	0,13	-0,12
Лодейное Поле	0,22	0,17	-0,11	-0,46	0,31	0,30	0,02	-0,05	0,25	-0,03	0,33	0,30
Новгород	0,17	0,20	-0,23	-0,32	-0,23	-0,22	-0,23	-0,31	-0,33	-0,42	-0,18	-0,10
Николаевское	0,16	0,19	-0,13	-0,14	0,13	0,02	0,23	-0,25	0,16	0,14	0,22	0,12
Псков	0,25	0,71	0,35	0,43	-0,25	-0,01	-0,13	0,18	-0,25	0,18	-0,08	0,11
Свирца	0,17	0,14	0,00	0,03	-0,26	-0,32	-0,11	-0,14	0,17	-0,07	-0,04	-0,12
Старое Гаролово	0,22	0,21	0,09	0,14	-0,19	0,21	-0,36	-0,30	0,14	0,29	-0,01	-0,01

Для осуществления второго варианта была составлена и отлажена программа линейной интерполяции по влияющим, которые обозначены порядковым номером станции. Преимущество этого варианта программы состоит в том, что он позволяет производить интерполяцию с влияющими, отобранными по любому признаку.

Проверку производили на материалах за июль 1961—1965 гг., так как все данные по средней месячной температуре за август были использованы для расчета коэффициентов корреляции; другого независимого материала для проверки не оказалось. Можно было ожидать, что годовой ход температуры при этом не окажет заметного влияния.

По данным табл. 5 и 6, отбор влияющих по коэффициенту корреляции не дал уменьшения невязок интерполяции. Это объясняется тем, что из-за необходимости использования единого периода наблюдений для получения надежной матрицы коэффициентов корреляции сеть станций оказалась очень редкой (18 вместо 53), поэтому станции ближайшего окружения, корреляционные связи которых с интерполируемой могли оказаться выше, не попали в число влияющих. Некоторое влияние могло оказать и то обстоятельство, что испытание производилось на материале за август.

Таблица 6

Распределение по градациям невязок интерполяции температуры за июль для 18 станций СЗ УГМС в зависимости от критерия отбора влияющих

Отбор влияющих	Невязки интерполяции Δf град.							σ^2	σ
	0,00— 0,09	0,10— 0,19	0,20— 0,29	0,30— 0,39	0,40— 0,49	0,50— 0,59	0,60— 0,69		
По минимальному расстоянию . . .	26	29	19	6	4	1		0,042	0,21
По коэффициенту корреляции . . .	28	27	12	12	4	1	1	0,047	0,22

Для сравнения вновь полученных коэффициентов корреляции с данными работы [5] они были нанесены на график в зависимости от расстояния r , а затем проведена сглаженная кривая. Корреляционная функция $m(r)$ нормировалась на значение функции при $r=0$. В результате этих вычислений были построены нормированные корреляционные функции $\mu(r)$ (рис. 2) для территории СЗ УГМС. Ход их довольно хорошо согласуется с аналогичными функциями, полученными для большого района [5].

Эмпирическая проверка точности оптимальной интерполяции производилась для станций Веребье, Ломоносов, Лодейное Поле, Новгород и Псков с помощью программы, составленной Г. Х. Хатамкуловым. Эта программа позволяет получить веса и меры ошибки оптимальной интерполяции по корреляционной матрице с порядком n , где $6 \leq n \leq 16$.

Результаты вычисления весов P_i и мер ошибок интерполяции ε для указанных станций по двум вариантам отбора влияющих станций даны в табл. 7.

Сравнение мер ошибок показывает, что отбор влияющих по коэффициенту корреляции и при оптимальной интерполяции только для некоторых станций приводит к улучшению результата. Это еще раз свидетельствует о том, что к отбору влияющих станций нельзя подходить формально, выбирая в качестве критерия какой-то единый для всех

Оптимальные интерполяционные веса P_i и значения величины меры ошибки ϵ

Станция	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	ϵ
---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------------

Отбор влияющих по расстоянию

Веребье	0,2102	-0,2774	0,1725	0,0168	0,1422	0,7380	0,0119
Ломоносов	0,1910	-0,1538	0,1165	0,4539	0,4215	-0,0282	0,0091
Лодейное Поле	0,2178	-0,3876	0,4791	0,4712	0,5023	-0,2809	0,0117
Новгород	0,1343	0,0600	0,2205	0,0613	0,1852	0,3495	0,0159
Псков	-0,1636	-0,6750	0,3695	0,1312	0,6712	0,0565	0,0159

Отбор влияющих по коэффициенту корреляции

Веребье	0,0345	-0,1597	0,1247	0,2527	0,0897	0,6670	0,0036
Ломоносов	0,1514	0,0498	0,1333	0,0030	0,3250	0,3401	0,0100
Лодейное Поле	-0,2944	-0,3052	-0,4987	0,7668	0,7046	0,6190	0,0083
Новгород	0,0356	0,1440	0,0966	0,2066	0,3045	0,4094	0,0118
Псков	-0,1335	-0,0954	0,3796	0,0487	0,1535	0,6460	0,0159

станций признак. В каждом конкретном случае необходимо так подобрать группировки влияющих станций, чтобы невязка интерполяции для каждой станции оказалась минимальной.

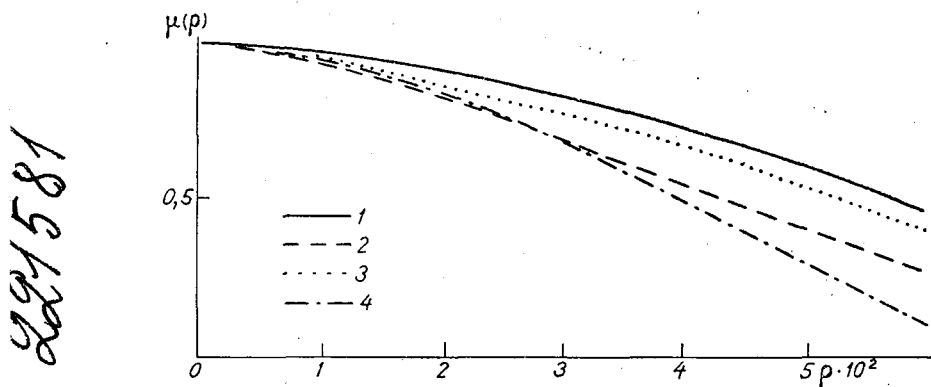


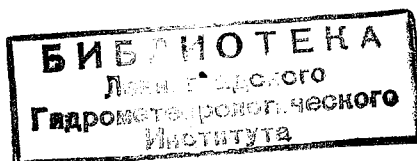
Рис. 2. Нормированные корреляционные функции средней месячной температуры.

1 — февраль; 2 — апрель; 3 — август; 4 — ноябрь.

При выборе метода интерполяции, как уже указывалось в работе [2], нет оснований считать, что оптимальная интерполяция имеет заметные преимущества перед линейной. Этот вывод подтверждается и данными обработки эмпирического материала (табл. 8).

Таким образом, критический анализ средней месячной температуры на ЭВМ возможен. Средняя квадратическая невязка интерполяции, даже при линейной интерполяции в простейшем варианте, составляет в среднем $0,26^\circ$. Уменьшения невязки интерполяции следует добиваться не за счет усложнения метода интерполяции, а за счет лучшего выбора влияющих станций.

При внедрении автоматического контроля на ЭВМ в практику выбор влияющих для каждой конкретной станции потребует производства численных опытов по данным за последние 5—10 лет.



Невязки оптимальной интерполяции по станциям СЗ УГМС. Июль 1961—1965 гг.

Станция	Отбор влияющих									
	по расстоянию					по коэффициенту корреляции				
	1961	1962	1963	1964	1965	1961	1962	1963	1964	1965
Веребье	-0,30	-0,10	-0,40	-0,30	0,01	0,31	0,50	-0,40	1,04	0,07
Ломоносов	0,00	-0,20	0,19	-0,43	-0,10	0,09	0,37	0,34	-0,14	0,25
Лодейное Поле	0,04	0,60	0,19	0,03	-0,36	-0,11	-0,40	0,55	-0,36	-0,58
Новгород	-0,18	-0,07	-0,42	-0,62	0,10	-0,04	-0,45	-0,52	-0,57	-0,20
Псков	0,80	0,53	-0,38	0,15	0,39	0,68	-0,60	-0,62	0,21	0,60

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы климатологической обработки метеорологических наблюдений. Под ред. О. А. Дроздова. Гидрометеиздат, Л., 1957.
2. Светлова Т. П. Контроль полей среднего месячного давления и средней месячной температуры с помощью ЭВМ «Урал-4». Труды ГГО, вып. 214, 1967.
3. Справочник по климату СССР. ч. II, вып. 3. Гидрометеиздат, Л., 1965.
4. Руководство по первичной обработке материалов метеорологических наблюдений. Гидрометеиздат, Л., 1957.
5. Светлова Т. П. Исследование статистической структуры полей температуры воздуха и давления у земли. Труды ГГО, вып. 194, 1966.

О КРИТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ СРЕДНИХ МЕСЯЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ СКОРОСТИ ВЕТРА

Для выявления ошибочных данных метеорологических элементов применяется метод, основанный на линейной интерполяции. Величина невязки между наблюденной величиной элемента на рассматриваемой станции и его значением, полученным путем интерполяции, указывает на наличие ошибочных данных.

Если невязка превысит некоторую заранее заданную предельную величину, которую можно получить, используя статистические характеристики, данные можно считать сомнительными. Подробно постановка задачи рассмотрена в работах [1, 2].

В настоящей статье представлены статистические характеристики поля средней месячной скорости ветра, а также некоторые результаты опытов по пространственной и временной интерполяции. Все расчеты были выполнены на машине «Урал-4». В качестве исходных данных использованы средние месячные значения скорости ветра, полученные на 36 станциях Московской и Калининской областей за период с 1936 по 1960 г., имеющих однородные ряды наблюдений. В работе [3] достаточно подробно описаны рельеф Московской области, местоположение отдельных станций и распределение средних месячных значений скорости ветра на них. В табл. 1 приводятся средние квадратические отклонения от средних, вычисленных за 25-летний период по указанному району. Из табл. 1 видно, что средние квадратические отклонения имеют четко выраженный годовой ход с максимумом в зимние и минимумом в летние месяцы. Суточный ход средних квадратических отклонений меняется в зависимости от сезона. Так, наибольшее значение в зимние месяцы наблюдается в 1 час, а в летние — в 13 час.

Для всех месяцев были рассчитаны коэффициенты корреляции средней месячной скорости ветра для различных пар станций. Расчеты проводились только для тех лет, когда наблюдения имелись на обеих станциях, поэтому период, для которого считались коэффициенты корреляции, часто оказывался коротким и в среднем составлял 10—15 лет.

Результаты расчетов для января и июля представлены в табл. 2. Полученные коэффициенты корреляции очень низки, а иногда принимают отрицательные значения. Это можно объяснить тем, что наблюдаемая скорость ветра существенно зависит от местных факторов, таких как защищенность станции, форма рельефа, близость водоемов, условия установки флюгера. Для января, как правило, коэффициенты корреляции несколько выше, чем для июля. По-видимому, это связано с тем,

Таблица 1

Средние квадратические отклонения средней месячной скорости ветра в различные сроки наблюдений (часы)

№ стан- ции	Станция	Январь				Февраль				Март				Апрель			
		1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19
		1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19
1	Волоколамск	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,8	0,9	0,8	0,9	0,6	0,6	0,8	0,6
2	Можайск	0,9	0,8	0,7	0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
3	Клин	1,0	1,1	1,1	1,0	1,4	1,2	1,2	1,4	0,8	0,6	0,8	1,0	0,5	0,4	0,6	0,5
4	Наро-Фоминск	1,0	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,7	0,9	0,6	0,6	1,0	0,6
5	Ново-Иерусалим	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6
6	Собакино	0,6	0,6	0,6	0,7	0,9	0,7	0,7	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
7	Серпухов	0,7	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,4	0,5	0,6	0,5
8	Дмитров	1,1	1,0	0,9	1,2	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,7	0,7	0,9	0,8
9	Москва, с.-х. акад.	0,8	0,7	0,8	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,9	0,7
10	Москва, ВДНХ	0,7	0,5	0,6	0,8	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,4	0,6	0,5	0,7	0,4
11	Лосиноостровская	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6
12	Михнево	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,8	0,6
13	Быково	1,0	0,9	1,0	1,0	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	1,0	1,1	1,0	0,9	1,0	0,9	0,8
14	Кашира	1,1	1,0	1,0	1,1	0,7	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8	0,9	0,8	0,7	0,6	0,8	0,7
15	Загорск	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	0,5	0,6	0,5	0,8	0,4	0,4	0,4	0,7	0,3	0,2	0,4
16	Починки	0,7	0,5	0,7	0,8	0,7	0,4	0,8	0,7	0,7	0,5	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5
17	Павловский Посад	1,0	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,8	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	0,6	0,4
18	Коломна	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,6	0,4	0,5	0,5
19	Куровское	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,3
20	Черусти	0,7	0,7	0,6	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
	Среднее	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6

№ станции	Станция	Май				Июнь				Июль				Август			
		1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19
1	Волоколамск	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,6	0,6	0,5	0,4
2	Можайск	0,7	0,6	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,3
3	Клин	0,6	0,6	0,9	0,6	0,6	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5
4	Наро-Фоминск	0,4	0,6	0,8	0,5	0,4	0,5	1,0	0,6	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,6	0,3
5	Ново-Иерусалим	0,5	0,6	0,6	0,4	0,4	0,5	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
6	Собакино	0,6	0,4	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,2
7	Серпухов	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,5	0,4	0,7	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4
8	Дмитров	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,6	0,4	0,4	0,7	0,4	0,6	0,6	0,9	0,7
9	Москва, с.-х. ак.	0,8	0,8	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,5
10	Москва, ВДНХ	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,5	0,2	0,5	0,4	0,6	0,5
11	Лосиноостровская	0,6	0,4	0,6	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	0,4
12	Михнево	0,6	0,5	0,9	0,6	0,5	0,6	0,9	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,4	0,4	0,7	0,5
13	Быково	0,6	0,7	0,9	0,6	0,5	0,7	1,2	0,7	0,5	0,4	0,9	0,6	0,5	0,4	0,8	0,5
14	Кашира	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5
15	Загорск	0,4	—	0,5	0,2	0,4	0,6	0,4	0,3	0,4	0,7	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,2
16	Починки	0,6	0,7	0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3
17	Павловский Посад	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,6	0,6	0,3	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,3	0,6	0,6
18	Коломна	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
19	Куровское	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
20	Черусти	0,6	0,4	0,6	0,5	0,2	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,7	0,4
	Среднее	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,6	0,4

№ станции	Станция	Сентябрь				Октябрь				Ноябрь				Декабрь				Год							
		1		7		13		19		1		7		13		19		1		7		13		19	
		1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19
1	Водолазск	0,7	0,7	0,6	0,5	0,9	0,9	0,9	0,7	0,6	0,7	0,8	0,7	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2
2	Можайск	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8	0,9	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	
3	Клин	0,8	0,7	0,7	0,7	1,0	0,8	1,2	0,9	0,8	0,8	0,8	0,6	0,9	0,8	0,8	0,8	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	
4	Наро-Фоминск	0,6	0,7	0,8	0,6	0,9	0,8	1,0	0,7	0,8	0,7	0,8	0,6	1,0	1,0	0,9	0,9	0,4	0,3	0,6	0,3	0,4	0,3	0,3	
5	Ново-Иерусалим	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	
6	Собакино	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
7	Серпухов	0,5	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	
8	Дмитров	0,4	0,5	0,5	0,5	0,9	0,8	1,0	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	1,1	0,8	0,7	1,0	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
9	Москва, с.-х. ак.	0,8	0,7	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,9	0,8	0,7	0,8	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
10	Москва, ВДНХ	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	
11	Лосиноостровская	0,6	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	0,9	0,7	0,5	0,4	0,5	0,4	0,8	0,8	0,7	0,8	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	
12	Михнево	0,7	0,6	0,8	0,6	0,7	0,6	0,8	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	1,0	0,9	0,9	0,9	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	
13	Быково	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	1,3	0,9	1,0	0,9	0,8	1,1	0,9	1,0	0,9	0,9	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,3	
14	Кашира	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,7	1,0	0,8	0,9	0,8	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	
15	Загорск	0,4	0,5	0,3	0,3	0,5	0,7	0,5	0,3	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	
16	Починки	0,8	0,8	0,9	0,6	0,7	0,8	1,0	0,9	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	
17	Павловский Посад	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,5	0,8	0,6	0,6	0,7	0,5	0,5	0,9	0,9	0,8	0,8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
18	Коломна	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,5	0,3	0,5	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	
19	Куровское	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,6	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
20	Черусти	0,6	0,5	0,4	0,4	0,7	0,6	0,8	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,8	0,8	0,9	0,7	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
	Среднее	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	

что в январе подстилающая поверхность более однородна из-за наличия снежного покрова.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции средней месячной скорости ветра
для различных пар станций по наблюдениям в 7 и 13 час.

Станция	Расстояние, км	Январь		Июль	
		7	13	7	13
Михнево—Кашира	34	0,74	0,68	0,56	0,62
Серпухов—Михнево	38	0,66	0,70	0,52	0,75
Ново-Иерусалим—Собакино	41	0,84	0,94	0,88	0,87
Клин—Дмитров	50	0,84	0,95	0,40	0,25
Старица—Торжок	60	0,89	0,67	0,27	0,33
Быково—Коломна	66	0,77	0,70	0,22	0,52
Вышний Волочек—Максатиха	80	0,66	0,85	0,43	0,56
Торжок—Тургиново	88	0,59	0,50	0,51	0,29
Михнево—Починки	95	0,76	0,72	0,45	0,68
Волоколамск—Дмитров	105	0,90	0,69	0,53	0,44
Толмачи—Савелово	126	0,85	0,47	0,37	0,32
Наро-Фоминск—Загорск	135	0,81	0,88	0,85	0,36
Красный Холм—Савелово	142	0,67	0,59	0,67	0,57
Можайск—Починки	158	0,64	0,85	0,70	0,48
Бологое—Кесьма	186	0,64	0,65	0,50	0,30
Волоколамск—Коломна	205	0,43	0,41	0,47	0,22
Белый—Вышний Волочек	216	0,70	0,77	0,58	0,22

На рис. 1 приведена корреляционная функция для июля. С расстоянием она меняется мало, по крайней мере для тех расстояний, которые здесь рассматриваются. Можно ожидать, что при рассмотрении большей

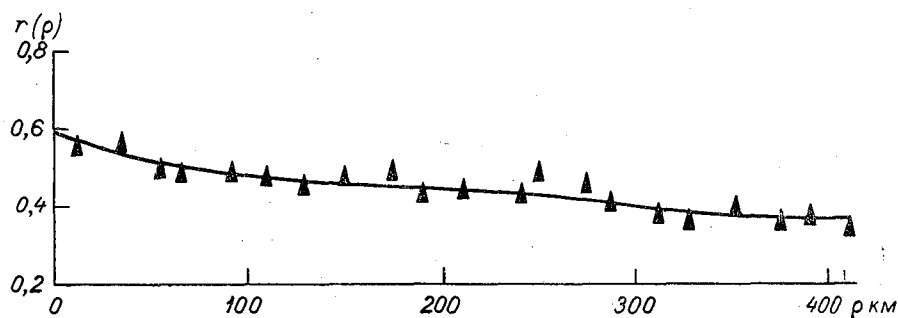


Рис. 1. Корреляционная функция средней месячной скорости ветра. Июль, 13 час.

территории корреляционная функция будет заметно убывать с расстоянием. Корреляционная функция для января не приведена, так как она имеет аналогичный ход.

Малые значения коэффициентов корреляции и существенные различия их при одном и том же расстоянии между станциями указывают на то, что наиболее эффективной могла быть оптимальная интерполяция средних месячных значений. К сожалению, коэффициенты корреляции вычислены по сравнительно короткому ряду наблюдений (в среднем 10—15 лет) и статистически мало обеспечены. Это делает невозможным использование метода оптимальной интерполяции и заставляет на данном этапе ограничиться линейной пространственной интерполяцией.

Линейная пространственная интерполяция средней месячной для июля и для средней годовой скорости ветра производилась по данным тех же 36 станций в срок наблюдений 13 час. Исходные данные включали период с 1956 по 1960 г. Схема расположения станций представлена на рис. 2. Интерполяция выполнялась по формуле

$$V_0 = \bar{V}_0 + \sum_{i=1}^n P_i (V_i - \bar{V}_i), \quad (1)$$

где V_i — значение скорости ветра на i -той влияющей станции; $\bar{V}_i$ — норма средней месячной скорости ветра на этой же станции (практически вместо норм использовались средние месячные скорости ветра, осредненные за период с 1936 по 1960 г.); P_i — «веса» влияющих станций.

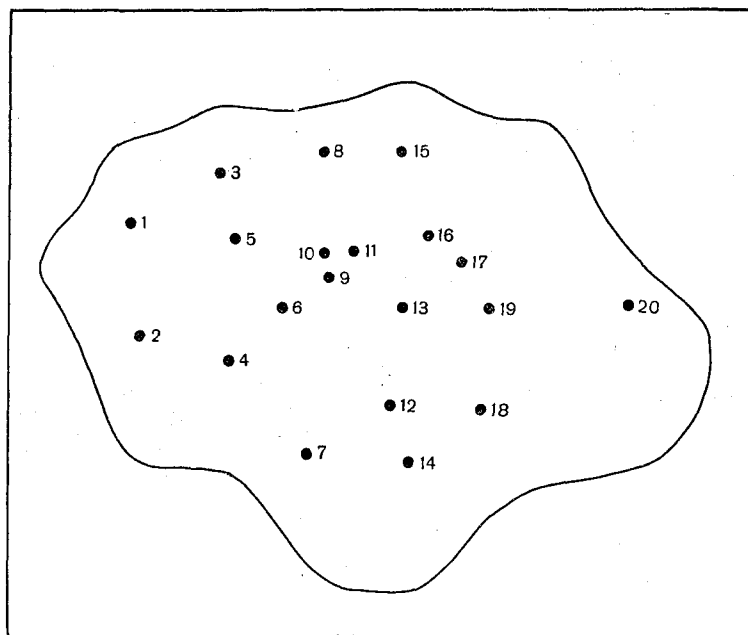


Рис. 2. Схема размещения станций Московской и Калининской областей.

Названия станций см. табл. 1.

Индексом «0» помечены те же величины для станций, на которых производилась интерполяция.

Расчеты осуществлялись по программе, составленной Т. П. Светловой [4]. В программе шесть влияющих станций отбирались по принципу наибольшей близости. В результате сравнения фактически наблюдаемых скоростей ветра со значениями, полученными путем интерполяции, определялись невязки интерполяции, включающие не только ошибки самой интерполяции, но и ошибки наблюдений (табл. 3).

Из табл. 3 видно, что невязки интерполяции в большинстве своем не превышают критерий отбраковки (1 м/сек.), применяемый в настоящее время при критическом анализе скорости ветра [5].

Невязки интерполяции июльской средней месячной скорости ветра в 13 час. превышают этот критерий в 7% случаев, а средней годовой скорости ветра в тот же срок только в 3%. При этом средняя квадратическая невязка интерполяции σ скорости ветра в июле составляет

0,6 м/сек., а средней годовой скорости только 0,4 м/сек. Следует обратить внимание на то, что эти невязки интерполяции сравнимы с изменчивостью самого элемента по данному району, составляющей 0,5 м/сек. для июля и 0,3 м/сек. для годовых данных.

Таблица 3

Невязки интерполяции средней месячной скорости ветра в июле
и среднегодовой скорости в 13 час.

Станция	1956		1957		1958		1959		1960	
	VII	год	VII	год	VII	год	VII	год	VII	год
Волоколамск . . .	-0,7	0,0	0,4	0,2	-0,5	0,0	-0,3	-0,2	0,5	-0,3
Можайск . . .	0,6	0,6	-0,3	-0,2	0,3	-0,3	-0,2	0,0	0,6	0,0
Клин . . .	0,6	0,3	0,4	0,2	0,5	0,3	0,6	0,4	0,6	0,7
Наро-Фоминск . .	-0,7	-0,6	0,5	0,5	-0,1	0,3	0,3	0,4	0,7	0,4
Ново-Иерусалим .	0,2	-0,2	-0,6	-0,7	-0,1	-0,3	0,1	0,0	-0,3	0,0
Собакино . . .	0,4	0,2	-0,2	-0,1	0,6	0,3	0,4	0,1	-0,4	0,2
Серпухов . . .	1,3	0,8	0,1	-0,3	0,3	-0,3	-0,5	-0,8	-0,7	-0,7
Дмитров . . .	0,9	0,6	0,1	0,0	0,8	-0,2	-0,2	-0,4	-0,5	-0,5
Москва, с.-х. акад.	-0,6	-0,1	-0,3	-0,1	-0,2	-0,3	-0,2	0,0	0,0	-0,2
Москва, ВДНХ . .	0,5	0,0	0,3	0,1	-0,1	0,0	-0,1	-0,2	0,4	0,0
Лосиноостров- ская . . .	-0,7	-0,3	-0,3	0,0	0,3	0,2	-0,3	0,0	0,1	0,0
Михнево . . .	-0,2	-0,3	-0,6	-0,3	0,4	0,2	0,4	0,3	0,5	0,4
Кашира . . .	-0,7	0,2	0,4	1,0	-0,7	0,5	0,2	0,9	0,1	0,4
Загорск . . .	-0,2	-0,6	-0,5	-0,3	-0,3	0,0	-0,3	0,0	-0,8	-0,1
Павловский По- сад . . .	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,0	0,3	0,3	0,4	0,0
Коломна . . .	0,6	0,0	0,4	-0,3	-0,7	-0,7	0,2	-0,5	0,5	0,0
Куровское . . .	-0,5	-0,4	-0,7	-0,4	-0,3	-0,3	0,5	0,0	0,2	0,3
Черусти . . .	0,7	0,9	1,0	0,9	1,2	1,2	-0,9	0,5	-1,0	-0,5
Торопец . . .	-0,5	-0,3	-0,7	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	0,1	-0,4
Западная Двина .	0,5	-0,2	-0,4	-0,2	0,0	-0,3	0,0	0,0	-0,2	0,0
Белый . . .	-0,1	0,8	1,7	1,1	0,6	1,1	0,7	0,6	0,6	0,6
Осташков . . .	0,4	0,3	1,8	0,6	0,0	0,2	0,3	0,1	0,3	0,3
Бологое . . .	0,5	-0,2	-1,0	-0,4	0,0	-0,1	0,5	-0,2	-0,3	-0,4
Кувшиново . . .	0,4	0,2	0,4	0,2	0,1	0,3	0,7	0,3	0,6	0,1
Вышний Волочек .	-0,7	0,0	-0,1	-0,3	0,1	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0
Старица . . .	0,3	-0,1	-0,9	-0,5	0,0	-0,2	-0,4	-0,1	-0,6	0,0
Торжок . . .	-0,6	0,1	0,4	0,3	0,2	0,0	-0,4	0,0	0,1	0,1
Толмачи . . .	0,3	0,2	0,5	0,3	0,6	0,4	0,2	0,1	-0,1	0,3
Максатиха . . .	0,3	0,0	-0,3	0,3	-0,1	0,0	-0,5	0,0	0,1	0,1
Тургиново . . .	0,1	-0,2	-0,4	0,2	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	-0,1
Бежецк . . .	0,3	0,3	0,1	0,2	-0,1	0,3	0,3	0,2	0,0	-0,4
Кесьма . . .	0,4	0,3	2,2	0,4	0,6	0,4	-0,3	0,0	-0,4	-0,1
Красный Холм . .	-0,6	-0,4	-1,6	-0,6	-0,8	-0,7	-0,1	-0,4	0,3	0,0
Савелово . . .	-0,6	0,0	0,3	0,0	-0,4	-0,2	-0,6	-0,4	0,5	-0,2
Кашин . . .	0,2	0,0	0,6	0,5	1,2	0,7	0,3	0,8	0,2	0,9

Поскольку область, по которой производилась интерполяция, вытянута по широте, значительная часть станций оказалась расположенной вблизи границ ее территории, фактически на этих станциях производилась экстраполяция скорости ветра, но не интерполяция. Поэтому в дальнейшем была выбрана новая область таким образом, чтобы количество граничных станций было по возможности меньшим. Схема этой области дана на рис. 3, где внутренние станции выделены пунктиром.

В качестве исходных данных использовались средние месячные скорости ветра в июле за 13 час. с 1961 по 1965 г. Нормы скорости ветра были взяты из Справочника [9].

В табл. 4 представлено распределение полученных невязок линейной пространственной интерполяции для всей области и внутренних станций. Анализ данных табл. 4 показывает, что 87% невязок интерполяции не превосходят принятый [5] критерий отбраковки (1 м/сек.).

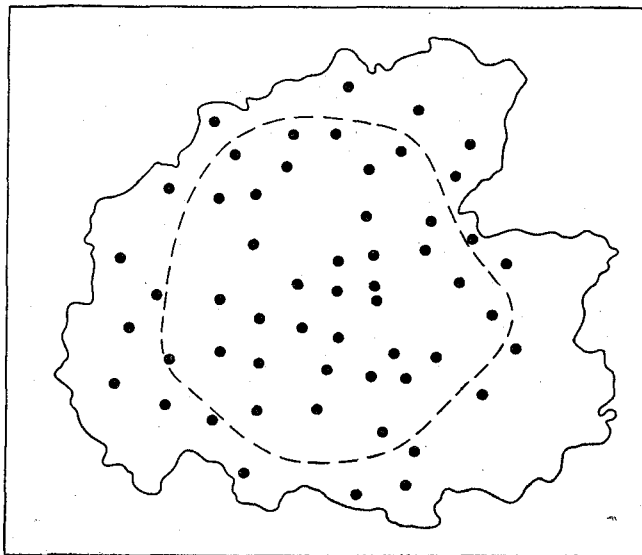


Рис. 3. Схема расположения станций УГМС Центральных областей.

Таблица 4

Распределение невязок линейной пространственной интерполяции

Невязки интерполяции	Вся область $\sigma=0,68$		Внутренние станции $\sigma=0,66$	
	повторяемость	обеспеченность, %	повторяемость	обеспеченность, %
0,00—0,09	29	11	20	15
0,10—0,19	44	26	25	26
0,20—0,29	28	36	23	39
0,30—0,39	35	49	23	52
0,40—0,49	20	57	13	58
0,50—0,59	27	66	17	69
0,60—0,69	15	72	10	75
0,70—0,79	14	77	11	81
0,80—0,89	16	83	7	85
0,90—0,99	11	87	2	87
1,00—1,19	12	91	10	92
1,20—1,39	6	93	5	95
1,40—1,59	10	97	5	98
1,60—1,79	4	98	1	98,5
1,80—1,99	3	99	2	99
2,00—2,19	1	100	1	100

Распределение невязок интерполяции для внутренних станций мало отличается от распределения их по всей области. Средняя квадратическая невязка интерполяции по большому району для июля также мало изменилась и составила 0,7 м/сек. по всему району и по внутренним станциям.

Следовательно, если использовать в качестве критерия отбраковки для невязок интерполяции допуск 1 м/сек., то можно успешно применять линейную пространственную интерполяцию для критического анализа средней месячной скорости ветра с помощью электронной вычислительной машины (ЭВМ). При этом для последующего дополнительного рассмотрения наряду с ошибочными будет получено 7—13% правильных данных. Для дальнейшего анализа сомнительных данных, а также данных отдельных станций, находящихся в особых физико-географических условиях, может быть предложена временная линейная интерполяция.

Для оценки возможности применения временной интерполяции при критическом анализе данных о скорости ветра были произведены расчеты по методике, изложенной в работе [6]. Средняя квадратическая невязка интерполяции на середину была рассчитана по формуле Дроздова—Шепелевского [7].

$$\epsilon^2(\tau) = b_v\left(\frac{\tau}{2}\right) - \frac{1}{4} b_v(\tau), \quad (2)$$

где $b_v(\tau)$ — структурная функция скорости ветра

$$b_v(\tau) = [\overline{v(t+\tau) - v(t)}]^2,$$

v — отклонение скорости ветра от нормы, τ — интервал времени между интерполируемыми данными.

Для расчетов были взяты ежечасные данные наблюдений по анемометрографу на ст. Воейково за январь и июль с 1952 по 1965 г.

В табл. 5 приведены значения структурной функции отклонений скорости ветра от средней.

Таблица 5

Временная структурная функция отклонений скорости ветра от средней (м²/сек.²)

Месяц	τ часы								
	1	2	3	4	5	6	8	10	12
I	0,019	0,035	0,045	0,055	0,065	0,075	0,091	0,105	0,112
VII	0,022	0,033	0,044	0,052	0,062	0,070	0,087	0,088	0,097

По формуле (2) были рассчитаны средние квадратические невязки интерполяции на середину отрезка значений скорости ветра для интервалов времени 2, 4, 6, 8, 10, 12 час. Результаты приведены в табл. 6.

Таблица 6

Средние квадратические невязки временной интерполяции скорости ветра (м/сек.) ст. Воейково

Месяц	τ часы					
	2	4	6	8	10	12
I	0,10	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22
VII	0,12	0,14	0,16	0,17	0,20	0,24

Из табл. 6 видно, что значения средней квадратической невязки интерполяции существенно меньше критерия отбраковки. Для $\tau=6$ (т. е. при четырехсрочных наблюдениях) невязка равна 0,16, для $\tau=12$ она естественно несколько выше 0,22. Подобно тому, как это сделано в работе [6], было определено, что распределение невязок интерполяции близко к нормальному. Следовательно, обеспеченность средней квадратической невязки интерполяции такая же, как и для нормального закона, т. е. 68%.

Расчеты проводились по отклонениям метеорологических элементов от норм, следовательно, исходные данные должны включать сведения о нормах. Однако за некоторые промежуточные сроки наблюдений нормы отсутствуют, поэтому появилась необходимость (особенно в связи с переходом на восьмисрочные наблюдения) интерполировать во времени нормы. Была осуществлена тригонометрическая интерполяция средних многолетних данных для четырех- и восьмисрочных наблюдений по формулам, представленным в работе [6].

В табл. 7 приведены средние квадратические ε и максимальные абсолютные значения $\delta_{\max}$ невязок интерполяции средних многолетних. Из табл. 7 видно, что интерполяция по восьми срокам обеспечивает более высокую точность, особенно это заметно в летнее время.

Таблица 7

Невязки интерполяции средних многолетних значений скорости ветра. Ст. Воейково

Число сроков	Невязки	Январь	Июль
4	ε	0,10	0,22
	$\delta_{\max}$	0,20	0,40
8	ε	0,09	0,09
	$\delta_{\max}$	0,20	0,20

По результатам, полученным только для одной ст. Воейково, трудно судить о возможностях временной интерполяции. Поэтому были сделаны дополнительно некоторые оценки по 20 станциям Московской области.

В табл. 8 приведены коэффициенты корреляции между средними месячными значениями скорости ветра за разные сроки наблюдений для пяти станций, так как они характерны и для остальных станций. Приведенные коэффициенты для разных сроков наблюдений на одной станции заметно выше коэффициентов для одного срока на различных станциях, так как в первом случае меньше сказывается влияние местных факторов. При увеличении промежутка времени между сроками наблюдений значения коэффициентов корреляции, как и следовало ожидать, уменьшаются.

Средние квадратические невязки временной интерполяции рассчитывались по структурным функциям.

Поскольку структурные функции получаются различными для различных периодов (хотя бы и одинаковой продолжительности), расчеты производились по формуле для нестационарной связи

$$\bar{\varepsilon}^2(\tau) = \frac{1}{4} \left\{ 2b_v\left(t; \frac{\tau}{2}\right) + 2b_v\left(\frac{\tau}{2}; \tau\right) - b_v(t; \tau) \right\}. \quad (3)$$

В табл. 9 приведены результаты расчетов для $\tau=12$. Из табл. 9 видно, что средние квадратические невязки временной интерполяции не

превышают 0,5 м/сек. По-видимому, эту величину можно использовать как критерий отбраковки сомнительных данных при временной интерполяции.

Таблица 8

Коэффициенты корреляции между значениями средней месячной скорости ветра в различные сроки наблюдений

Станция	Январь					Июль				
	6 час.			12 час.		6 час.			12 час.	
	1—7	7—13	13—19	1—13	7—19	1—7	7—13	13—19	1—13	7—19
Можайск	0,92	0,86	0,79	0,75	0,88	0,84	0,58	0,76	0,52	0,65
Клин	0,90	0,96	0,96	0,91	0,93	0,91	0,77	0,80	0,66	0,76
Собакино	0,83	0,80	0,87	0,75	0,72	0,90	0,71	0,76	0,78	0,77
Михнево	0,87	0,95	0,89	0,85	0,88	0,80	0,76	0,62	0,65	0,82
Кашира	0,92	0,92	0,90	0,88	0,89	0,63	0,84	0,76	0,59	0,68

Таблица 9

Средние квадратические невязки интерполяции скорости ветра по станциям Московской области по наблюдениям в 7 и 13 час.

Станция	Часы		Станция	Часы	
	7	13		7	13
Волоколамск	0,28	0,39	Лосиноостровская	0,32	0,32
Можайск	0,24	0,41	Михнево	0,30	0,28
Клин	0,32	0,24	Быково	0,28	0,35
Наро-Фоминск	0,24	0,22	Кашира	0,33	0,28
Ново-Иерусалим	0,24	0,28	Загорск	0,33	0,26
Собакино	0,28	0,26	Починки	0,28	0,37
Серпухов	0,24	0,28	Павловский Насад	0,28	0,28
Дмитров	0,37	0,35	Коломна	0,20	0,24
Москва, с.-х. академия	0,32	0,42	Куровское	0,24	0,30
Москва, ВДНХ	0,22	0,30	Черусти	0,26	0,24

Судя по полученным невязкам интерполяции, временная интерполяция осуществляется точнее, чем пространственная. Поэтому представляет интерес применение ее в качестве способа контроля данных на отдельных изолированных станциях и дополнительного анализа сомнительных данных, выявленных ранее при пространственной интерполяции.

Существующий критерий отбраковки 1 м/сек. значительно (в 2 раза) превосходит естественную изменчивость элемента. В связи с этим также представляется перспективным, оставаясь в пределах этого критерия, просмотр изменчивости средних месячных значений скорости ветра от года к году на одной станции. При нормальном законе распределения в этом случае только 5% правильных данных будут считаться сомнительными (выдаваться для последующего рассмотрения).

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлин И. А., Каган Р. Л. К вопросу автоматизации контроля метеорологических данных. Труды ГГО, вып. 194, 1966.
2. Каган Р. Л. О точности интерполяции при критическом анализе метеорологических данных. См. наст. сб.

3. Колосков П. И., Назарова И. В. Скорость ветра в Московской области. Труды НИИАК, вып. 4, 1958.
4. Светлова Т. П. Контроль полей среднего месячного давления и средней месячной температуры у земли с помощью ЭВМ «Урал-4». Труды ГГО, вып. 214, 1967.
5. Руководство по первичной обработке материалов метеорологических наблюдений. Гидрометеиздат, Л., 1957.
6. Каган Р. Л., Дроздовская П. П. Об интерполяции метеорологических элементов во времени. Труды ГГО, вып. 194, 1966.
7. Дроздов О. А., Шепелевский А. А. Теория интерполяции в стохастическом поле метеорологических элементов и ее применение к вопросам метеорологических карт рационализации сети. Труды НИИ ГУГМС, сер. 1, вып. 13, 1946.
8. Дроздов О. А. Основы климатологической обработки метеорологических наблюдений. Изд. ЛГУ, Л., 1956.
9. Справочник по климату СССР, ч. III, вып. 8. Гидрометеиздат, Л., 1966.

О ПРИЛОЖЕНИИ МЕТОДИКИ ОБЪЕКТИВНОГО АНАЛИЗА К КОНТРОЛЮ ПОЛЯ ДАВЛЕНИЯ

Расхождение между результатом интерполяции на некоторую станцию с окружающих станций и значением (анализируемого элемента на ней (которое в дальнейшем будем называть невязкой интерполяции) может быть обусловлено ошибочностью данных на проверяемой станции или на одной из окружающих станций, а также погрешностью используемого метода интерполяции.

Представление о точности используемого метода могут дать теоретические ошибки интерполяции, которые вычисляются по данным о статистической структуре рассматриваемого элемента. Подобные оценки для среднего месячного давления на уровне моря сделаны в работе [1]. Однако теоретическая оценка позволяет получить только представление о средней (наиболее вероятной) невязке интерполяции. При этом следует учесть, что поле среднего месячного давления у земли не удовлетворяет в полной мере условию однородности и изотропности, а статистическая структура поля [2] отражает лишь общие закономерности всей области, не выявляя особенностей отдельных районов. Поэтому основой контроля результатов наблюдений должен служить анализ невязок интерполяции конкретного материала Δf .

Для получения невязок была использована линейная интерполяция, методика и описание программы которой подробно изложены в работе [1].

(В качестве исходных данных служили материалы наблюдений над давлением на территории Северо-Западного УГМС, прошедшие технический контроль и критический просмотр, т. е. материалы, не содержащие грубых ошибок.

Интерполировались не сами значения элемента, а их отклонения от нормы, что позволило в значительной мере учитывать физико-географические особенности различных станций. Поэтому оказалось возможным использовать из всех станций СЗ УГМС только те, для которых имелись значения норм среднего месячного давления на уровне моря. Таких станций было отобрано 28 (рис. 1). Расчет велся для четырех месяцев: февраля, апреля, августа и ноября.

Теоретическая ошибка интерполяции $\sqrt{E}$ рассчитывалась с учетом ошибки наблюдения за элементом в точке. Точность наблюдений для всех точек принималась одинаковой.

В качестве примера в табл. 1 приводятся невязки интерполяции давления для августа за пять лет. В большинстве случаев они не

превышают по абсолютной величине 0,3 мб. Исключение составляют данные ст. Выборг, где невязка интерполяции в 1962 г. превысила 1 мб. Однако следует иметь в виду, что ст. Выборг расположена в стороне от остальных станций, следовательно, в этом случае более правомерно говорить о невязке экстраполяции.

Применение ЭВМ для целей контроля возможно в том случае, если предложенная методика позволяет выявить ошибки, превышающие предельно допустимую невязку. В нашей работе в качестве такой невязки была принята величина $\pm 0,5$ мб, применяемая при ручном контроле среднего месячного давления на уровне моря [3].

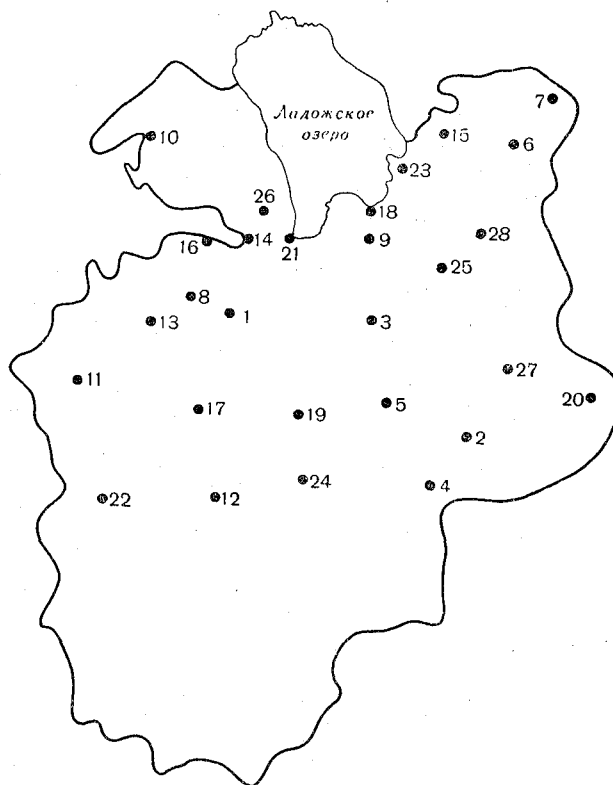


Рис. 1. Схема расположения станций, использованных для анализа
Названия станций см. табл. 1.

Из распределения по грациям фактически наблюдавшихся невязок интерполяции (табл. 2) для всех рассматривавшихся месяцев следует, что только менее 10% невязок превышает указанный выше допуск.

Анализ невязок интерполяции, превосходящих по абсолютной величине 0,5 мб, показал, что часть из них возникает за счет краевых станций. Если отобрать из всех невязок только те, которые принадлежат станциям внутренней области, и снова произвести статистическую обработку, количество невязок, превышающих допуск, уменьшится до 2%. Отсюда следует, что в дальнейшем нельзя проводить интерполяцию, не привлекая для этой цели данные станций соседних УГМС.

(Результаты сопоставления проинтерполированных и фактических значений) для каждой станции, приведенные в табл. 1, показывают, что

Невязки интерполяции среднего месячного давления на уровне моря по станциям СЗ УГМС. Август с 1961 по 1965 г.

№ п/п	Станция	Высота барометра H_6 м	Среднее расстояние до влияющих, км	$\sqrt{E}$	Невязки интерполяции Δf мб					Невязки интерполяции Δf мб после исправления поправок к барометрам					средняя абсолютная	
					1961	1962	1963	1964	1965	средняя абсолютная	1961	1962	1963	1964		1965
1	Белогорка	90,9	71	0,17	0,34	0,22	0,10	0,03	-0,04	0,15	0,08	-0,06	0,14	0,03	0,03	0,07
2	Боровичи	91,8	94	0,17	0,27	0,32	0,32	0,05	-0,15	0,22	-0,18	-0,13	-0,15	0,04	-0,15	0,13
3	Будогощь	53,7	87	0,17	-0,26	-0,28	-0,46	-0,62	-0,24	0,37	-0,30	-0,28	-0,06	-0,22	-0,24	0,22
4	Валдай	196,4	111	0,22	-0,50	-0,54	-0,71	-0,14	0,02	0,38	-0,09	0,03	0,05	0,10	0,13	0,08
5	Веребье	114,7	88	0,17	-0,08	-0,08	0,22	0,38	0,28	0,21	-0,09	0,07	0,11	0,23	0,24	0,15
6	Винницы	94,0	98	0,18	0,08	0,09	-0,05	0,39	0,43	0,21	0,02	0,09	-0,05	-0,00	0,04	0,04
7	Вознесенье	37,2	140	0,27	-0,02	0,03	0,26	0,41	-0,43	0,23	-0,02	0,03	0,26	-0,21	-0,23	0,15
8	Волосово	128,5	69	0,16	0,47	0,41	0,53	0,18	0,10	0,33	0,29	0,25	0,35	0,20	0,12	0,24
9	Волхов	32,5	68	0,15	-0,35	-0,14	0,03	0,11	-0,24	0,18	-0,06	-0,14	-0,10	0,17	-0,24	0,14
10	Выборг	16,1	132	0,54	0,57	1,26	0,88	0,75	0,06	0,70	0,27	0,96	0,77	0,95	0,29	0,65
11	Гдов	37,1	123	0,23	0,19	-0,05	0,02	-0,05	-0,12	0,09	0,17	-0,07	0,06	-0,06	-0,12	0,10
12	Дно	70,6	117	0,20	0,01	-0,15	-0,29	0,02	0,22	0,14	-0,06	-0,21	-0,20	-0,11	0,09	0,15
13	Кингисепп	19,2	89	0,19	-0,29	-0,13	-0,30	0,04	0,06	0,16	-0,25	0,09	-0,23	-0,01	0,02	0,12
14	Ленинград	3,8	58	0,13	0,03	0,02	0,02	0,08	-0,15	0,06	0,04	0,03	0,08	0,12	-0,10	0,07
15	Лодейное Поле	23,3	86	0,19	-0,13	-0,22	-0,20	-0,00	-0,27	0,16	-0,16	-0,02	-0,20	0,17	0,09	0,12
16	Ломоносов	4,2	60	0,17	0,18	0,02	0,13	-0,01	0,26	0,12	-0,14	-0,09	0,03	-0,13	0,12	0,09
17	Николаевское	90,5	95	0,19	-0,16	-0,07	-0,08	0,37	0,32	0,02	-0,12	-0,03	-0,06	0,33	0,28	0,16
18	Новая Ладога	8,7	69	0,15	-0,12	-0,02	-0,04	0,01	-0,20	0,08	-0,12	-0,02	-0,08	-0,05	-0,20	0,09
19	Новгород	25,0	93	0,17	0,01	-0,01	-0,02	0,14	0,08	0,05	-0,03	0,01	-0,08	0,01	0,01	0,03
20	Охоты	144,9	140	0,30	-0,26	-0,26	0,05	0,04	0,59	0,24	-0,12	0,13	0,18	-0,04	0,50	0,19
21	Петрокрепость	11,0	62	0,16	0,09	0,13	-0,03	0,07	0,09	0,08	0,08	0,17	-0,01	0,09	0,11	0,09
22	Псков	44,5	144	0,26	0,16	0,09	0,10	0,21	0,16	0,14	-0,16	0,09	0,10	0,19	0,14	0,17
23	Свирица	8,3	76	0,17	0,28	0,24	-0,09	0,05	0,50	0,23	0,20	0,24	0,09	0,12	0,58	0,25
24	Старая Русса	24,9	104	0,19	0,14	0,22	0,29	0,59	0,68	0,38	-0,00	0,08	0,19	-0,25	-0,38	0,16
25	Тихвин	59,2	78	0,16	-0,09	0,10	0,02	0,01	-0,05	0,05	0,12	-0,10	-0,03	-0,13	-0,15	0,11
26	Токсола	109,4	67	0,17	0,05	0,05	-0,11	0,01	-0,03	0,05	-0,05	-0,05	-0,06	0,07	0,04	0,05
27	Хвойная	163,5	98	0,18	0,13	0,10	-0,02	0,14	0,00	0,08	0,20	0,17	0,04	0,07	-0,06	0,11
28	Шугозеро	89,3	88	0,19	-0,20	-0,18	-0,26	-0,38	-0,48	0,30	-0,22	-0,18	-0,26	0,15	0,05	0,17

Таблица 2

Распределение по градациям (первая строка) и обеспеченность в процентах (вторая строка) невязок интерполяции среднего месячного давления на уровне моря и средняя квадратическая невязка интерполяции (σ)

Месяц	Невязки интерполяции Δf мб								σ^2	σ
	0,00— 0,09	0,10— 0,19	0,20— 0,29	0,30— 0,39	0,40— 0,49	0,50— 0,59	0,60— 0,69	0,70— 0,79		
По всем станциям области (28 станций)										
II	26	29	25	16	16	14	4	2	0,166	0,40
	19	40	59	71	83	93	96	98		
IV	28	24	26	25	20	6	4	7	0,111	0,34
	35	37	56	74	88	92	95	100		
VIII	60	27	23	9	10	5	2	2	0,080	0,28
	42	61	77	84	91	94	96	97		
XI	37	30	31	16	12	4	3	3	0,144	0,38
	25	47	70	82	91	93	97	98		
По внутренним станциям (12 станций)										
II	12	17	12	10	5	5			0,081	0,28
	20	48	67	83	92	100				
IV	11	13	10	11	10	4	1		0,056	0,23
	18	40	56	75	91	98	100			
VIII	25	14	9	7	3	1	1		0,041	0,20
	42	65	80	92	96	98	100			
XI	24	15	11	8	1		1		0,028	0,17
	33	55	71	95	98		100			

невязки интерполяции Δf меняются в значительных пределах от станции к станции, а для целого ряда станций и от года к году. Вместе с тем можно выделить значительную часть станций, на которых невязки интерполяции за весь рассматриваемый период остаются примерно одинаковыми.

Значительные изменения невязок интерполяции от станции к станции, как показано в работе [1], зависят не только от расстояния до влияющих станций, но и от симметричности их расположения по отношению к интерполируемой. Для выяснения причины резких скачков Δf от года к году сопоставлялся ход невязок интерполяции на каждой станции с изменениями постоянных поправок станционных барометров по барометрическому журналу. Оказалось, что для тех станций, на которых постоянная поправка барометра длительное время оставалась прежней (или изменилась незначительно), величина невязки интерполяции Δf мало меняется от года к году. Именно такое соответствие хода постоянных поправок изменению невязок интерполяции от года к году наблюдается, например, на станциях Гдов, Ленинград, Токсово (табл. 1).

Существенное нарушение плавного хода поправок вызывает резкое изменение величины Δf . Действительно, постоянная поправка $\pm 1,1$ мб, которая вводилась в исходные данные ст. Волосово в августе 1961—1963 гг., привела к резкому увеличению невязок интерполяции Δf в этот период по сравнению с 1964—1965 гг.

По существующим правилам при неизменном положении барометра на станции сличение его с инспекторским барометром должно производиться один раз в три года.

Обычно инструментальная (а следовательно, и постоянная) поправка барометра длительное время остается без изменения или меняется незначительно на $\pm 0,1-0,2$ мб. Такое изменение поправки может быть вызвано как объективными причинами (амальгамирование ртути, загрязнение трубки, отвинчивание чашки и т. д.), так и погрешностью сличения показаний станционного барометра с показаниями инспекторского. При анализе результатов очередной поверки барометра часто довольно трудно решить: оставить прежнюю инструментальную поправку или принять новую.

Ежемесячный критический просмотр материалов также не всегда может дать однозначный ответ, поэтому новая постоянная поправка иногда не принимается до тех пор, пока она не будет подтверждена следующей инспекцией, так как в дальнейшем может оказаться, что принятая поправка была неточной.

Например, вызывает сомнение поправка на ст. Белогорка, полученная при инспекции 7 августа 1960 г. (табл. 3). Она не подтверждается следующей инспекцией и противоречит отметке о состоянии барометра. Наоборот, поправку $+1,3$ мб, полученную при инспекции ст. Боровичи 11 августа 1960 г., по-видимому, следовало принять. Следующая инспекция подтвердила изменение постоянной поправки. Так как

Таблица 3

Выписки из барометрического журнала СЗ УГМС

Станция	Постоянная поправка барометра (мб) и дата сличения				Примечание
Белогорка	6 V 1959 1,6	7 VIII 1960 1,3	27 VII 1963 1,6		Состояние барометра удовлетворительное, мениск выпуклый
Боровичи	16 VI 1958 1,0	11 VIII 1960 1,3	25 X 1963 1,3		То же
Будогощь	25 IV 1960 1,1	26 IV 1960 1,2	20 IX 1963 0,7	23 IV 1965 0,8	То же
Валдай	2 IV 1960 1,3	27 VII 1960 1,5	26 IX 1963 1,1	1 XI 1965 1,3	То же
Винницы	4 III 1960 1,3	2 X 1963 1,7	3 X 1963 1,4		2 X барометр перенесен
Волосово	28 X 1959 1,4	15 VII 1961 1,1	26 IX 1963 1,3		Состояние барометра удовлетворительное
Волхов	22 IX 1958 2,0	1 IX 1961 1,7	4 IV 1964 1,3	2 VII 1964 1,6	То же
Старая Русса	13 XII 1960 1,1	12 X 1963 0,7	25 IX 1965 0,7		12 X 1963 установлен новый барометр, принята поправка ЦБП 1,0 мб
Шугозеро	24 III 1960 1,3	28 X 1963 0,9	16 XII 1965 1,2		Состояние барометра удовлетворительное, мениск выпуклый

Примечание. Постоянные поправки барометров, принятые в УГМС, набраны полужирным.

известны результаты инспекций, производившихся позже рассматриваемого периода, то можно более объективно решить, какие из поправок следует принять. Был проделан следующий опыт.

На основании тщательного анализа изменений инструментальных поправок барометров за 1958—1966 гг. с учетом состояния барометров и квалификации инспектора, производившего поверку, была произведена существенная корректировка постоянных поправок. Так, например, поправка +1,3 мб, полученная при инспекции ст. Белогорка, была признана сомнительной; для всего рассматриваемого периода была принята постоянная поправка +1,6 мб. Наоборот, в значения давления на ст. Боровичи за 1961—1963 гг. была введена постоянная поправка +1,3 мб, не принятая в УГМС в 1960 г., но подтвержденная последующей инспекцией. В результате была получена таблица поправок к исходным данным (табл. 4) на величину разности между постоянной поправкой, принятой в УГМС, и принятой нами.

Таблица 4

Поправки (мб) к исходным данным за счет корректировки постоянных поправок барометров. Август 1961—1965 гг.

Станция	Год				
	1961	1962	1963	1964	1965
Белогорка	+0,3	+0,3			
Боровичи	+0,3	+0,3	+0,3		
Будогощь			-0,4	-0,4	
Валдай	-0,3	-0,3	-0,3		
Винницы				+0,4	+0,4
Волосово	+0,2	+0,2	+0,2		
Волхов	-0,3				
Старая Русса				-0,3	-0,3
Шугозеро				-0,4	-0,4

После корректировки исходных данных в соответствии с табл. 4 вторично производилась интерполяция по той же программе.

Результаты расчетов (табл. 1) показали, что почти все замеченные неоднородности удалось устранить. Сравнение табл. 5 и 6 убедительно доказывает это. Основная часть невязок интерполяции по исправленным данным для внутренних станций не выходит за пределы $\pm 0,3$ мб.

Аналогичные результаты были получены при проведении опыта на материале наблюдений за февраль, поэтому здесь они не приводятся.

Проведенный опыт указывает на реальную возможность оценки состояния станционных барометров с помощью метода линейной интерполяции, осуществляемого на ЭВМ.

Приводим примерную схему анализа:

1. Производится интерполяция элемента на каждую станцию с окружающих за период приблизительно 5 лет, предшествующий рассматриваемому.

2. Вычисляется невязка интерполяции $\Delta f = \tilde{f} - f$, где $\tilde{f}$ — интерполированное значение; f — фактическое значение элемента.

3. Просматривается изменение значений Δf для данной станции. Изменение последней на $\pm 0,3$ мб¹ свидетельствует о неисправности барометра и необходимости срочной поверки его.

¹ В качестве критерия взята величина 0,2 мб — показатель неоднородности рядов наблюдений над давлением воздуха [4].

Таблица 5

Распределение по градациям невязок интерполяции
среднего месячного давления на уровне моря за август

Год	Невязки интерполяции Δf мб									σ^2	σ
	0,00— 0,09	0,10— 0,19	0,20— 0,29	0,30— 0,39	0,40— 0,49	0,50— 0,59	0,60— 0,69	0,70— 0,79	0,80— 0,89		
По всей области											
1961	9	9	5	2	2	1				0,059	0,24
1962	13	5	5	1	2	1			1	0,095	0,31
1963	14	3	6	1	1	1		1	1	0,087	0,30
1964	14	5	1	4	1	1	1	1		0,079	0,28
1965	10	5	6	1	4	1	1			0,082	0,29
Сумма случаев	60	27	23	9	10	5	2	2			
Среднее										0,080	0,28
Повторяемость, %	43	19	16	6	7	4	1	1	1		
По внутренним станциям											
1961	4	3	2	2	1					0,023	0,15
1962	5	3	2	1	1					0,059	0,24
1963	7	1	1	1	1	1				0,047	0,22
1964	6	3		2			1			0,43	0,21
1965	4	3	4	1						0,034	0,18
Сумма случаев	25	14	9	7	3	1	1				
Среднее										0,041	0,24
Повторяемость, %	42	23	15	12	5	2	2				

Приведенная схема справедлива, если исключаются технические ошибки при получении среднего давления за месяц, введении поправок и приведении давления к уровню моря.

Описанную методику следует варьировать в зависимости от постановки задачи. Возможны три основных варианта:

Вариант I. Необходимо выяснить, нуждается ли в поверке при ближайшей инспекции барометр данной станции. В этом случае достаточно вычислить величины Δf для среднего годового давления за период 5 лет.

Вариант II. После очередной инспекции величина постоянной поправки изменилась. Необходимо решить, оставить поправку прежней или изменить ее. В этом случае необходимо вычислить для данной станции величину Δf за 5 месяцев, предшествующих инспекции, а затем, введя новую постоянную поправку в исходные данные, перевычислить Δf . Новая постоянная поправка может быть принята только в том случае, если она не ухудшает результат интерполяции.

Вариант III. Необходимо установить момент появления неоднородности в материалах наблюдений. В этом случае по аналогии с вариантом I выясняется, в каком году обнаруживается скачок величины Δf , а затем вычисляются величины Δf за все месяцы этого года.

Возможны и другие варианты.

Распределение по градациям невязок интерполяции
по исправленным данным за август

Таблица 6

Год	Невязки интерполяции Δf мб							σ^2	σ
	0,00—	0,10—	0,20—	0,30—	0,40—	0,50—	0,60—		
	0,09	0,19	0,29	0,39	0,49	0,59	0,69		
По всей области									
1961	12	9	6	1			1	0,022	0,14
1962	15	7	5				1	0,050	0,22
1963	14	7	5	1			1	0,043	0,21
1964	11	10	5	1			1	0,054	0,23
1965	9	9	7	1		2		0,048	0,22
Сумма случаев	61	42	28	4		2	3		
Среднее								0,043	0,21
Повторяемость, %	44	30	20	3		1	2		
По внутренним станциям									
1961	6	4	1					0,023	0,15
1962	6	4	2					0,019	0,14
1963	7	4		1				0,018	0,13
1964	5	3	3	1				0,027	0,16
1965	3	4	5					0,031	0,18
Сумма случаев	27	19	11	3					
Среднее								0,023	0,15
Повторяемость, %	45	30	20	5					

Предлагаемый метод оценки состояния станционных барометров помогает однозначно решить вопрос о принятии новой постоянной поправки и обнаружить появление неисправностей барометра, вызывающих изменение показаний на $\pm 0,3$ мб и более, а также исключить проведение лишних сличений барометра с инспекторским.

Дополнительно эффективность методики проверялась для случая, когда наблюдения искажались искусственно. Для этого были выбраны две станции — Николаевское и Тихвин — так, чтобы влияющие станции для одной не являлись одновременно влияющими для другой. В данные среднего месячного давления на каждой из двух станций вводились поочередно ошибки от $\pm 0,3$ до $\pm 0,5$ мб, и интерполяция производилась каждый раз заново. Вычисленные таким образом значения невязок интерполяции для августа 1961 г. представлены в табл. 7.

Наличие ошибочных данных на станциях Николаевское и Тихвин приводит к увеличению расхождений между исходными и проинтерполированными значениями не только на указанных станциях, но и на станциях, для которых они являются влияющими.

Однако, как видно из данных табл. 7, не во всех случаях возможно выявить ошибочные данные, основываясь только на признаке максимальности величины Δf . Так, например, при искажении данных ст. Тихвин на 0,5 мб максимальное расхождение между интерполированным и фактическим значениями получается для ст. Шугозеро. Невязки интерполяции для станций Волхов и Будогощ также оказываются больше, чем на станции с искаженными данными.

Таблица 7

Невязки интерполяции на внутренних станциях при искажении данных
на станциях Николаевское и Тихвин. Август 1961 г.

Станция	Неисправленные данные					Исправленные данные				
	до ввода ошибки	после ввода ошибок				до ввода ошибки	после ввода ошибок			
		0,3	0,4	0,5	-0,5		0,3	0,4	0,5	-0,5
Белогорка	0,34	0,46	0,50	0,54	0,17	0,08	0,19	0,23	0,26	-0,11
Боровичи	0,27	0,25	0,25	0,25	0,25	-0,18	-0,19	-0,20	-0,20	-0,16
Будогощь	-0,26	-0,19	-0,17	-0,14	-0,39	-0,30	-0,22	-0,20	-0,19	-0,42
Веребье	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09
Волосово	0,47	0,50	0,52	0,54	0,36	0,29	0,34	0,36	0,37	0,21
Волхов	-0,35	-0,30	-0,28	-0,26	-0,46	-0,06	0,00	0,02	0,04	-0,16
Ленинград	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Николаевское	-0,16	-0,46	-0,56	-0,66	-0,34	-0,12	-0,42	-0,52	-0,62	0,38
Новая Ладога	-0,12	-0,12	-0,11	-0,11	-0,14	-0,12	-0,11	-0,11	-0,10	-0,14
Новгород	0,01	0,05	0,06	0,08	0,05	0,03	0,07	0,08	0,11	-0,05
Петрокрепость	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Тихвин	-0,07	-0,37	-0,47	-0,57	-0,43	-0,12	-0,42	-0,52	-0,62	0,38

Далее испытывался вариант, когда искажались данные на одной из влияющих станций или одновременно на интерполируемой и на влияющей; при этом вносились ошибки разных знаков. В табл. 8 приводятся отдельные результаты численных опытов. Они показывают, что ошибки, равные 0,5 мб, в ряде случаев невозможно выявить, так как колебания величин постоянных поправок приводят к неоднородности рядов давления.

Таблица 8

Изменение величины невязки интерполяции при искажении данных
на интерполируемой (Николаевское) и влияющей (Новгород) станциях.
Август 1961 г.

Станция	Неисправленные данные						
	до ввода ошибки	после ввода ошибки на интерполируемой (первая строка) и влияющей (вторая строка) станциях					
		+0,5 +0,5	-0,5 -0,5	+0,5 -0,5	-0,5 +0,5	+0,5 +0,5	-0,5 -0,5
Белогорка	0,34	0,54	0,16	0,54	0,16	0,35	0,35
Волосово	0,47	0,54	0,36	0,54	0,36	0,45	0,45
Дно	0,01	0,17	-0,16	-0,02	0,04	-0,09	0,10
Кингисепп	-0,30	-0,37	-0,21	-0,37	-0,21	-0,29	-0,29
Новгород	0,01	-0,42	0,45	0,58	-0,55	0,51	0,49
Старая Русса	0,14	0,27	0,00	0,12	0,15	0,06	0,21
Николаевское	-0,16	-0,63	-0,32	-0,68	0,36	-0,18	-0,13

Если аналогичные опыты провести с предварительно исправленными данными, то можно выявить почти все случаи, когда значения давления были искажены (табл. 9). Можно ожидать, что результаты несколько улучшатся, если, помимо исключения неоднородностей, производить анализ не для редкой сети, а для густой. Однако в этом случае мы столкнемся с необходимостью вычислить нормы для большого числа станций, что потребует больших затрат времени при работе вручную. Поэтому по описанной в работе [1] программе была выполнена линейная интерполяция норм давления на уровне моря для четырех месяцев года.

Изменение невязки интерполяции при искажении данных
на интерполируемых станциях Николаевское, Тихвин и
влияющей станции Новгород. Август 1961 г.

Станция	Исправленные данные						
	до ввода ошибки	после ввода ошибки на интерполируемых станциях					
		+0,3	—0,3	+0,4	—0,4	+0,5	—0,5
Николаевское							
Белогорка	0,08	0,19	—0,03	0,23	—0,07	0,26	—0,11
Волосово	0,29	0,34	—0,24	0,36	0,22	0,37	0,21
Дно	—0,06	—0,01	—0,10	0,00	—0,12	0,01	—0,13
Кингисепп	—0,25	—0,20	—0,13	—0,19	—0,21	—0,17	0,33
Новгород	0,03	0,07	—0,01	0,08	—0,02	0,11	—0,05
Старая Русса	0,00	0,04	—0,04	0,05	—0,05	0,06	—0,06
Николаевское	—0,12	—0,42	+0,18	—0,52	0,28	—0,62	+0,38
Тихвин							
Будогощь	—0,30	—0,22	—0,29	—0,20	—0,28	—0,19	—0,42
Волхов	—0,06	0,00	—0,12	0,02	—0,14	0,04	—0,16
Новая Ладога	—0,12	—0,11	—0,13	—0,11	—0,13	—0,10	—0,14
Свирица	0,20	0,17	—0,23	0,16	0,24	0,14	0,26
Хвойная	0,20	0,23	—0,17	0,24	0,16	0,26	0,14
Шугозеро	—0,22	—0,01	—0,43	0,06	—0,50	0,13	—0,57
Тихвин	—0,12	—0,42	+0,18	—0,52	0,28	—0,62	+0,38

Станция	Исправленные данные						
	до ввода ошибки	после ввода ошибки на интерполируемой (первая строка) и влияющей (вторая строка) станциях					
		+0,5	—0,5	+0,5	—0,5	+0,5	—0,5
Николаевское, Новгород							
Белогорка	0,08	0,27	—0,11	—0,11	0,27	0,08	0,08
Волосово	0,29	0,37	0,20	0,20	0,37	0,29	0,29
Дно	—0,06	0,11	—0,22	—0,09	—0,05	0,04	—0,15
Кингисепп	—0,25	—0,34	—0,17	—0,34	—0,17	—0,26	—0,26
Новгород	0,03	—0,40	0,47	—0,53	0,60	0,53	—0,46
Старая Русса	0,00	0,14	—0,14	—0,02	0,02	0,08	—0,09
Николаевское	—0,12	—0,59	+0,36	0,41	—0,64	—0,14	—0,09

Как показывает табл. 10, точность представления поля норм среднего месячного давления с помощью метода линейной интерполяции составляет в среднем $\pm 0,2$ мб, что согласуется с рекомендованной в работе [4] целесообразной точностью определения климатологических норм давления (0,2 мб). Следует учесть, что оценка точности представления поля норм в данном случае производилась по редкой сети и для всех станций рассматриваемой области, включая и краевые. Если рассматривать только внутренние станции, результат существенно улучшается (табл. 10). Следовательно, линейная интерполяция применима для получения норм среднего месячного давления на станциях рассматриваемой области и других равнинных районов.

(Таким образом, на основании анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы.)

Таблица 10

Распределение по градациям (первая строка) и повторяемость в процентах (вторая строка) невязок интерполяции норм давления на уровне моря для станций СЗ УГМС за август для 5 ситуаций

Месяц	Невязки интерполяции Δf						σ^2	σ
	0,00— 0,09	0,10— 0,19	0,20— 0,21	0,30— 0,31	0,40— 0,41	>40		
По всем станциям области (27 станций)								
II	3	6	10	7	1		0,05	0,22
	10	32	71	97	100			
IV	6	10	4	5	2		0,04	0,20
	21	59	74	91	100			
VIII	3	9	7	8			0,04	0,20
	10	45	70	100				
XI	5	11	8		2		0,05	0,22
	20	59	90		97	100		
По внутренним станциям (12 станций)								
II	2	5	3	2			0,03	0,17
	15	59	92	100				
IV	3	5	1	2	1		0,04	0,20
	25	67	75	91	100			
VIII	3	4	2	3			0,03	0,17
	25	59	75	100				
XI	2	5	4	1			0,02	0,14
	15	59	91	100				

1. Метод линейной интерполяции вполне приемлем для целей контроля среднего месячного давления на уровне моря, по крайней мере для рассмотренного района и других равнинных территорий.

2. Точность интерполяции, а следовательно, и число выявленных ошибок, могут быть существенно увеличены, если производить интерполяцию только по данным «внутренних» станций.

Для анализа станций, расположенных на границе анализируемого района, следует привлекать данные соседних областей.

3. Метод линейной интерполяции по данным шести ближайших станций помогает определить изменение инструментальной поправки станционных барометров и избежать проведения излишних сличений последних с инспекторским.

В процессе выполнения исследования автор постоянно пользовался помощью старшего инженера отдела метеорологии ЛГМО М. И. Мышинской, которой и выражает свою искреннюю признательность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Светлова Т. П. Контроль полей среднего месячного давления и средней месячной температуры у земли с помощью ЭВМ «Урал-4». Труды ГГО, вып. 214, 1967.
2. Светлова Т. П. Исследование статистической структуры полей температуры воздуха и давления. Труды ГГО, вып. 194, 1966.
3. Руководство по первичной обработке материалов метеорологических наблюдений. Гидрометеоздат, Л., 1957.
4. Будыко М. И., Дроздов О. А. О применении осреднения в климатологических исследованиях. Метеорология и гидрология, № 10, 1966.

В. С. КОПЫЧЕВА, А. И. ПОЛИЩУК, Т. П. СВЕТЛОВА

К ВОПРОСУ О КОНТРОЛЕ ДАННЫХ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ И КОЛИЧЕСТВА ОБЛАЧНОСТИ

Прежде чем использовать в обобщениях сведения о продолжительности солнечного сияния, так же как и сведения о любом другом метеорологическом элементе, необходимо подвергнуть их тщательному контролю, который поможет выявить недоброкачественные данные в исходном материале. Плохое качество наблюдений за продолжительностью солнечного сияния может быть вызвано неправильной установкой прибора, плохой обработкой лент, осаждением льда, росы или тумана на чашку шара гелиографа.

Если вследствие недостаточно тщательного ухода за прибором или крупных недочетов обработки материала окажется, что расхождение месячной суммы продолжительности солнечного сияния в данном пункте по сравнению с данными соседних станций достигает 20—30%, то в соответствии с [1] данные на этой станции считаются сомнительными, при большем расхождении — бракуются.

В ГГО была сделана попытка осуществить критический анализ продолжительности солнечного сияния с помощью ЭВМ «Урал-4». Оценивались теоретические и эмпирические невязки интерполяции. Поскольку о теоретических невязках интерполяции можно судить на основании сведений о статистической структуре метеорологических полей, были произведены расчеты корреляционных функций.

В качестве исходных данных использовались месячные суммы продолжительности солнечного сияния за июнь и июль по ряду станций, расположенных на территории Северо-Западного УГМС. Были отобраны 12 станций (рис. 1), по которым имелись наиболее длительные ряды наблюдений (от 10 до 16 лет) — с 1950 по 1965 г.

Корреляция месячных сумм проводилась для июня и июля отдельно. Коэффициенты корреляции получились довольно значительными на всех станциях, за исключением станций Гдов и Вознесенье (табл. 1). По индивидуальным коэффициентам корреляции были построены корреляционные функции месячных сумм продолжительности солнечного сияния в зависимости от расстояния (рис. 2), которые показали, что высокая корреляционная связь прослеживается до значительных расстояний. Так, для июня коэффициент корреляции даже на расстоянии 200 км равен 0,63, для июля — 0,65. Обе корреляционные функции мало отличаются друг от друга, и поэтому при дальнейшем анализе результаты были объединены в общую для обоих месяцев зависимость.

Эмпирические невязки интерполяции месячных сумм продолжительности солнечного сияния оценивались путем сравнения фактических значений метеорологического элемента с интерполированными величинами,

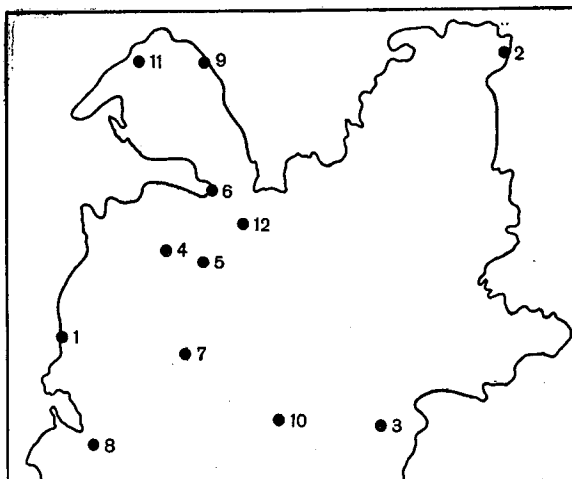


Рис. 1. Расположение сети гидрометеорологических станций на территории СЗ УГМС.

1 — Гдов, 2 — Вознесенье, 3 — Валдай, 4 — Волосово, 5 — Белогорка, 6 — Ленинград, 7 — Николаевское, 8 — Псков, 9 — Приозерск, 10 — Старая Русса, 11 — Лесогорский, 12 — Саблино.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции месячных сумм продолжительности солнечного сияния

Номер станции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
И ю н ь												
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	0,45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	0,39	0,64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	0,83	0,48	0,56	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	0,77	0,52	0,56	0,83	—	—	—	—	—	—	—	—
6	0,74	0,58	0,49	0,88	0,86	—	—	—	—	—	—	—
7	0,72	0,62	0,74	0,79	0,91	0,80	—	—	—	—	—	—
8	0,78	0,43	0,57	0,81	0,81	0,68	0,69	—	—	—	—	—
9	0,54	0,48	0,44	0,77	0,45	0,64	0,61	0,54	—	—	—	—
10	0,61	0,59	0,89	0,74	0,76	0,64	0,91	0,54	0,61	—	—	—
11	0,65	0,63	0,26	0,68	0,49	0,78	0,48	0,52	0,83	0,83	—	—
12	0,36	0,59	0,67	0,69	0,79	0,78	0,91	0,25	0,61	0,90	0,49	—
И ю л ь												
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	0,06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	0,26	0,52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	0,29	0,34	0,79	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	0,41	0,37	0,86	0,88	—	—	—	—	—	—	—	—
6	0,32	0,40	0,81	0,89	0,84	—	—	—	—	—	—	—
7	0,46	0,26	0,74	0,82	0,92	0,74	—	—	—	—	—	—
8	0,50	0,34	0,86	0,87	0,88	0,80	0,87	—	—	—	—	—
9	0,50	0,50	0,84	0,68	0,72	0,80	0,51	0,54	—	—	—	—
10	0,29	0,54	0,85	0,77	0,90	0,85	0,74	0,80	0,79	—	—	—
11	0,70	0,45	0,78	0,88	0,67	0,87	0,54	0,70	0,70	0,81	—	—
12	0,20	0,71	0,93	0,92	0,95	0,98	0,83	0,84	0,61	0,95	0,88	—

Примечание. Номера станций соответствуют рис. 1.

полученными по данным окружающих станций. Оценка проводилась по материалам тех же станций, для которых ранее вычислялись коэффициенты корреляции. По программе, составленной Т. П. Светловой, была выполнена интерполяция отклонений от норм месячных сумм продолжительности солнечного сияния за июнь и июль с 1956 по 1960 г. и определены невязки интерполяции. Эти невязки, отнесенные к фактическому значению наблюдаемой величины, приведены в табл. 2. Из данных табл. 2 видно, что на станциях Гдов, Вознесенье, Валдай

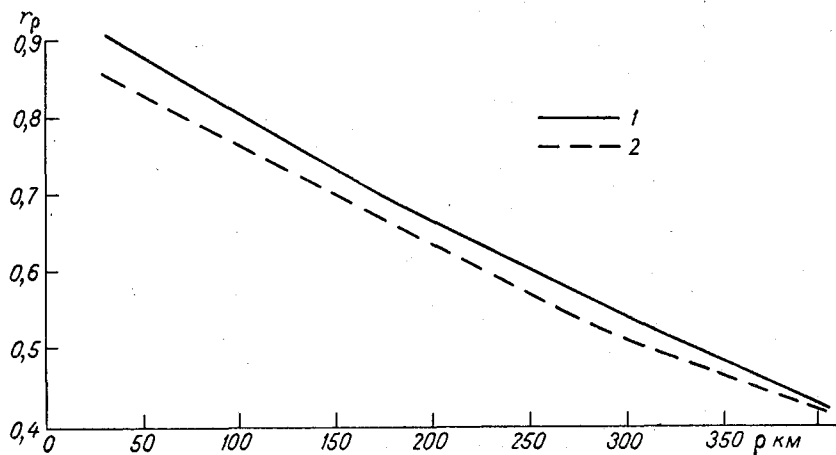


Рис. 2. Корреляционные функции месячных сумм продолжительности солнечного сияния.
1 — июнь; 2 — июль.

отмечаются большие невязки интерполяции. Это можно объяснить тем, что станции эти являются граничными, и интерполяция для них фактически подменяется экстраполяцией данных.

Таблица 2

Относительные невязки интерполяции Δf % месячных сумм продолжительности солнечного сияния на территории СЗ УГМС

Станция	Июнь					Июль				
	1956	1957	1958	1959	1960	1956	1957	1958	1959	1960
Гдов	7	4	22	6	4	12	8	3	2	10
Вознесенье	2	11	62	8	1	6	22	45	15	9
Валдай	12	10	25	4	6	9	25	17	10	10
Волосово	1	4	8	2	6	11	1	11	5	4
Белогорка	5	2	7	6	4	8	8	10	5	3
Невская	0	13	2	4	9	2	2	6	10	4
Николаевское . . .	8	2	3	2	5	2	18	2	3	3
Псков	1	6	4	2	5	12	1	6	3	11
Приозерск	4	6	12	17	1	15	4	7	4	9
Старая Русса . . .	6	3	4	4	5	3	9	4	4	6
Лесогорский . . .	—	1	3	7	8	—	5	1	1	8
Саблино	8	9	7	5	—	14	4	4	3	—

По данным табл. 2 было получено распределение относительных невязок интерполяции для 5 ситуаций по 12 станциям. Результаты сведены в табл. 3.

Таблица 3

Распределение по градациям относительных невязок интерполяции
месячных сумм продолжительности солнечного сияния на территории СЗ УГМС

Месяц	σ час.	Невязки интерполяции Δf ‰						
		0—5	6—10	11—15	16—20	21—25	26—30	31—35
VI	9,2	52	33	9	2	3		1
VII	10,2	46	22	22	3	3		1

Из табл. 3 видно, что согласно критерию браковки, принятому при ручном контроле, 96% исходных данных не вызывают сомнения.

Таким же способом были определены невязки интерполяции месячных сумм продолжительности солнечного сияния для группы станций, расположенных на территории УГМС Центральных областей. Рассматривались данные 18 станций за май 1962—1965 гг. и июль 1962—1966 гг.

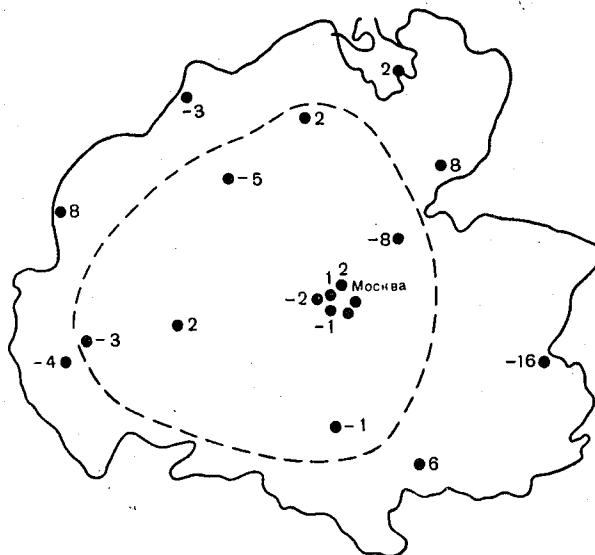


Рис. 3. Поле относительных невязок интерполяции
месячных сумм продолжительности солнечного сияния
за июль 1964 г. на территории УГМС ЦО.

На рис. 3 приведены схема расположения станций и поле относительных невязок интерполяции продолжительности солнечного сияния за июль 1964 г. Наибольшие невязки интерполяции получаются на краевых станциях, но для данного месяца и они не превосходят принятого критерия браковки данных.

Для отделения невязок интерполяции от невязок экстраполяции, которые по существу получаются для краевых станций, рассмотрим отдельно результаты только для внутренних станций (район, включающий внутренние станции, на рис. 3 выделен пунктирной линией).

В табл. 4 приведены распределения невязок интерполяции как по всем станциям на территории УГМС ЦО, так и отдельно по внутренним станциям.

Таблица 4

Распределение по градациям относительных невязок интерполяции месячных сумм продолжительности солнечного сияния на территории УГМС ЦО

Станции	Число ситуаций	Количество станций в каждой ситуации	σ час.	Невязки интерполяции Δf %						
				0—5	6—10	11—15	16—20	21—25	26—30	31—35
Все	9	16—18	8	80	51	16	8	3	1	1
Внутренние	9	10—11	7	53	33	7	3	2		

Как видно из табл. 4, при существующем критерии отбраковки лишь 3% исходных данных подлежат дополнительному анализу.

Средние квадратические ошибки интерполяции месячных сумм продолжительности солнечного сияния (σ час.), полученные по материалам СЗ УГМС и УГМС ЦО, невелики (см. табл. 3, 4). По отношению

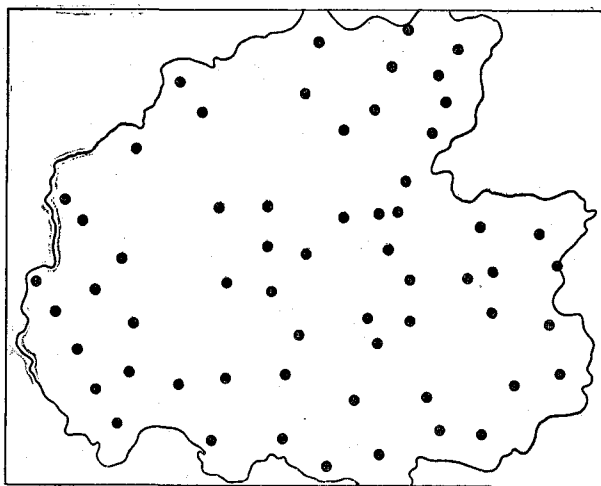


Рис. 4. Расположение сети гидрометеорологических станций на территории УГМС ЦО.

к месячной сумме солнечного сияния они составляют всего 3%. Таким образом, распределение невязок интерполяции для обоих районов практически совпадает. Следовательно, метод линейной интерполяции может быть использован для анализа месячных сумм продолжительности солнечного сияния.

Продолжительность солнечного сияния тесно связана с количеством облачности. Критический анализ наблюдений над количеством облаков представляется довольно сложным по целому ряду причин. Главная из них заключается в том, что облачность отличается значительной изменчивостью. В то же время наблюдения над количеством облаков ведутся визуально. Это приводит к возникновению довольно больших ошибок, которые зависят как от объективных факторов (недостаточно открытое положение станции, затруднительность определения количества облаков в темноте и др.), так и от субъективных особенностей наблюдателей [1].

Для критического анализа среднего месячного количества облаков была предпринята попытка провести линейную интерполяцию.

Исходным материалом явились средние месячные значения количества общей и нижней облачности за январь и июль с 1961 по 1965 г., полученные по наблюдениям 60 станций УГМС ЦО (рис. 4). Поскольку исходные данные были взяты из ежемесячников, нормы — из справочника по климату СССР, то информация грубых ошибок не содержала.

В табл. 5 приводятся результаты статистического анализа невязок интерполяции отдельно для общей и нижней облачности.

Таблица 5

Распределение по градациям невязок интерполяции среднего месячного количества облаков на территории УГМС ЦО по всем станциям области (58 станций) и по внутренним станциям (12 станций)

Станции	Месяц	σ баллы	Невязки интерполяции, баллы						
			0,00— 0,25	0,26— 0,50	0,51— 0,75	0,76— 1,00	1,01— 1,50	1,51— 2,00	2,01— 2,50
Общая облачность									
Все	I	0,3	178	80	22	6	3		
	VII	0,5	119	89	54	14	8	2	
Внутренние	I	0,3	121	39	9	2	3		
	VII	0,4	74	54	32	7	4		
Нижняя облачность									
Все	I	0,6	83	90	60	21	27	7	2
	VII	0,6	103	82	56	28	14	5	3
Внутренние	I	0,7	52	51	33	12	15	6	1
	VII	0,6	66	50	31	18	8	1	1

Средняя квадратическая невязка интерполяции σ для всех станций области для общей облачности составляет 0,4 балла, для нижней — 0,6 балла. Увеличение средней квадратической невязки, очевидно, вызвано тем, что наблюдения над нижней облачностью часто проводятся недостаточно качественно и изменчивость нижней облачности гораздо больше, чем общей.

В соответствии с [1], допуск для средних месячных величин общей облачности на равнинной части Европейской территории СССР составляет 1 и 1,5 балла соответственно для холодного и теплого времени года. Для нижней облачности по всем районам для любого времени года указанный допуск равен 1,5 балла.

Как показывает распределение полученных невязок по градациям (табл. 5), не менее 96% их не превышает допуск, которым руководствуются при ручном контроле. Поэтому, если для критического анализа данных среднего месячного количества облачности с помощью ЭВМ использовать линейную интерполяцию, критерием сомнительности данных могут служить невязки интерполяции, равные принятым при ручном контроле допускам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по первичной обработке материалов метеорологических наблюдений. Гидрометеиздат, Л., 1957.
2. Светлова Т. П. Контроль полей среднего месячного давления и средней месячной температуры у земли с помощью ЭВМ «Урал-4». Тр. ГГО, вып. 214, 1967.

О ТОЧНОСТИ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПРИ КРИТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

1. Одним из основных методов критического анализа метеорологических данных является метод интерполяции. Он сводится к определению невязки между фактически наблюдаемыми на данной станции в определенный срок значениями метеорологических элементов и значениями, полученными путем интерполяции по данным окружающих станций, либо по данным за другие сроки. Эта невязка интерполяции сравнивается с некоторой заранее заданной предельной величиной (допуском), при превышении которой данные считаются сомнительными и подлежат дальнейшему исследованию. В связи с этим большое значение имеет вопрос о точности интерполяции подвергаемых контролю величин. Располагая оценками точности, можно судить об эффективности того или иного способа интерполяции для целей численного контроля.

Вопрос о точности интерполяции метеорологических элементов рассматривался в ряде работ. Особенного внимания заслуживают работы, выполненные в ГГО под руководством О. А. Дроздова в связи с задачей о рационализации сети станций (см., например, [1]). Однако в этих работах оценивалась главным образом точность интерполяции срочных и средних суточных данных. Нас же интересует в первую очередь точность интерполяции осредненных за месяц величин. Таких данных в настоящее время очень мало.

Ниже излагаются некоторые итоги разработок по этому вопросу, выполненных в 1966 г. в Методическом отделе ГГО. Детальные сведения по отдельным метеорологическим элементам содержатся в статьях [3—7].

На основе сведений о статистической структуре интерполируемых величин могут быть получены теоретические (априорные) оценки точности интерполяции. Так, Т. П. Светловой [8] получены оценки точности для пространственной интерполяции средних месячных значений давления и температуры воздуха, П. П. Дроздовской и Р. Л. Каганом [9] — для временной интерполяции средних месячных значений температуры и относительной влажности за отдельные сроки. Эти оценки подтвердили высказанное в [10] предположение о том, что для целей критического анализа данных по ряду метеорологических элементов можно ограничиться линейной интерполяцией.

Однако теоретический метод оценок невязок интерполяции не всегда применим, так как мы до сих пор не располагаем достаточными све-

дениями о статистической структуре некоторых метеорологических элементов, которые позволяли бы оценивать теоретическую невязку интерполяции.

Имеющиеся данные о корреляционной структуре метеорологических полей по необходимости получены в предположении их однородности и изотропности. В действительности эти предположения для приземных полей выполняются плохо, поэтому полученные оценки точности могут быть правильны лишь в среднем для значительных территорий, а в различных районах могут отклоняться в ту или другую сторону.

Следует также иметь в виду, что теоретические оценки обеспечивают определение средней квадратической невязки интерполяции. Для практических же целей необходимо знать не только эту величину, но и все распределение ошибок. Во многих случаях можно ожидать, что распределение невязок интерполяции будет близким к нормальному, однако это предположение требует проверки, особенно для таких метеорологических элементов, распределение которых существенно отклоняется от нормального закона.

2. Указанные выше причины потребовали выполнения эмпирических оценок невязок интерполяции на фактическом материале. Такие оценки были выполнены на материале наблюдений УГМС Центральных областей и Северо-Западного УГМС. При расчетах использовались данные за прошлые годы, которые уже были тщательно проконтролированы в связи с подготовкой Справочника по климату СССР. Выбор таких материалов определялся тем, что на данном этапе ставилась не задача практической реализации контроля, а лишь задача оценки невязок интерполяции за счет естественной изменчивости метеорологических полей.

Вычисление невязок пространственной интерполяции осуществлялось на ЭВМ «Урал-4» с помощью программы, составленной Т. П. Светловой [8]. Программа обеспечивает линейную интерполяцию по данным шести окружающих станций. Выбор этих станций может осуществляться различными способами. В наших расчетах использовался простейший вариант, при котором эти станции отбирались по принципу наибольшей близости к той станции, на которую производилась интерполяция.

Интерполяция фактических данных осуществлялась:

а) по станциям УГМС Центральных областей — по скорости ветра, упругости водяного пара, относительной влажности, по суммам жидких и твердых осадков, продолжительности солнечного сияния, количеству облачности;

б) по станциям Северо-Западного УГМС — по давлению и температуре воздуха.

В табл. 1 сведены данные о повторяемости различных значений невязки интерполяции. С целью максимальной сопоставимости они приведены к значениям невязок фиксированной обеспеченности. Наряду с этим, приводится также величина средней квадратической невязки интерполяции σ .

Как уже указывалось, возможность практического применения ЭВМ зависит от возможности выявления на них ошибок, превышающих предельно допустимые невязки. В качестве последних на данном этапе естественно было использовать допуски для отбраковки, используемые в настоящее время при ручном контроле [11, 12]. Значения допусков K также приведены в табл. 1.

Анализ данных табл. 1 показывает, что по большинству элементов лишь незначительная часть (10—20%) невязок интерполяции превышает допуск. Это значит, что при использовании для контроля данного варианта интерполяции наряду с заведомо ошибочными данными будут

отсеиваться для дополнительного анализа примерно 10—20% правильных данных. Такой результат уже представляется удовлетворительным.

Таблица 1

Невязки пространственной интерполяции различной обеспеченности

Элемент	Период	Обеспеченность, ‰					σ	K
		25	50	75	90	95		
Давление воздуха, мб	II	0,12	0,24	0,39	0,55	0,65	0,35	0,50
	VIII	—	0,13	0,27	0,45	0,55	0,28	
Температура воздуха, град.	II	0,07	0,16	0,29	0,48	0,59	0,29	0,50
	VIII	0,06	0,14	0,26	0,39	0,49	0,25	
Упругость водяного пара, мб	I	0,04	0,08	0,15	0,21	0,25	0,13	0,30
	VII	0,07	0,15	0,25	0,37	0,48	0,20	
Относительная влажность, ‰	I	0,5	1,2	2,0	3,0	3,7	2,0	3,0
	VII	0,8	1,7	3,0	4,8	6,5	2,7	
Скорость ветра, м/сек.	VII, 13 ч.	0,18	0,40	0,74	1,15	1,48	0,68	1,0
	Год, 13 ч.	0,12	0,30	0,45	0,72	0,89	0,45	
Жидкие осадки, ‰	Месяц	7	18	35	54	68	32	30
	Сезон	3	8	15	24	30	16	
Твердые осадки, ‰	Месяц	5	13	24	39	49	24	20
	Сезон	—	10	19	32	40	20	
Продолжительность солнечного сияния, ‰	Месяц	—	5	8	13	17	8	20
Количество облачности, баллов	I	0,06	0,16	0,28	0,46	0,60	0,30	1,0
	VI	0,14	0,29	0,50	0,67	0,80	0,44	

Данные табл. 1 получены путем осреднения невязок по всем станциям выбранного куста, как граничным, так и центральным. Более детальный анализ показывает, что для граничных станций погрешности, как и следовало ожидать, существенно больше. Подбор для каждой станции опорных по формальному принципу близости далеко не всегда обеспечивает сходство их физико-географических условий с условиями на контролируемой станции. Дальнейшего уточнения интерполяции можно будет достигнуть путем предварительного подбора для каждой станции опорных, находящихся в сходных условиях, и введения этих сведений в программу интерполяции. Необходимо также при анализе данных станций на границе куста привлекать данные соседних станций из смежного куста. Оба эти приема практически используются при субъективном контроле. Использование их в рамках данной программы должно привести к дополнительному уточнению интерполяции.

Для месячных сумм осадков результаты интерполяции пока получаются неудовлетворительными. Это обусловлено большой естественной изменчивостью полей осадков. Некоторое улучшение достигается при интерполяции сезонных сумм осадков. Сравнительно велики погрешности интерполяции относительной влажности. Для повышения успешности контроля ее, наряду с пространственной интерполяцией могут быть использованы другие приемы (временная интерполяция, согласование с ходом других элементов).

Хотя подавляющая часть невязок интерполяции скорости ветра меньше принятого критерия $K=1$ м/сек., следует иметь в виду, что они в общем сравнимы с самой изменчивостью скорости ветра, которая для данного района составляет 0,6—0,7 м/сек.

Как будет показано ниже, существенное уточнение достигается при временной интерполяции скорости ветра.

Для метеорологических элементов типа осадков, скорости ветра, для которых характерна большая микроклиматическая изменчивость, можно рассчитывать на дальнейшее уточнение при переходе от линейной интерполяции к оптимальной.

3. Наряду с пространственной интерполяцией, при критическом анализе может быть использована и временная интерполяция. Особую ценность она представляет при анализе данных изолированных станций. Простейшим вариантом временной интерполяции является интерполяция по данным двух сроков. В этом случае отклонение от нормы за данный срок определяется как полусумма отклонений за предыдущий и последующий сроки.

Такой способ интерполяции средних месячных значений за отдельные сроки был испытан на фактическом материале наблюдений за температурой и относительной влажностью воздуха (Каган и Дроздовская [9]) и скоростью ветра (Л. А. Грошева [6]). Значения невязок интерполяции различной обеспеченности для ГМС Воейково приводятся в табл. 2.

Таблица 2

Невязки временной интерполяции средних месячных значений
по срокам для ст. Воейково

Элемент		Месяц	Число сро- ков	Обеспеченность, %					σ	K
				25	50	75	90	95		
Температура град	воздуха,	I	4	0,08	0,17	0,30	0,48	0,58	0,29	0,5
			8	0,05	0,10	0,19	0,27	0,35	0,18	
	VI	4	0,10	0,22	0,42	0,64	0,77	0,38		
		8	0,07	0,14	0,24	0,34	0,41	0,21		
Относительная ность, %	влаж-	I	4	0,4	0,7	1,2	1,7	2,1	1,1	3,0
			8	0,2	0,5	0,9	1,2	1,5	0,8	
	VI	4	0,7	1,3	2,2	3,3	4,1	2,1		
		8	0,5	1,0	1,6	2,4	2,8	1,5		
Скорость ветра, м/сек.		I	4	0,06	0,12	0,24	0,38	0,46	0,22	1,0
			8	0,06	0,11	0,20	0,28	0,33	0,16	
	VII	4	0,07	0,14	0,25	0,34	0,42	0,24		
		8	0,05	0,10	0,19	0,27	0,31	0,16		

Из табл. 2 видно, что интерполяция четырехсрочных данных наблюдений обеспечивает для рассмотренных элементов удовлетворительную точность. При наличии же данных наблюдений за восемь сроков точность интерполяции существенно повышается. В этом случае подавляющая часть невязок интерполяции (более 95%) не превышает критерия отбраковки K . Следовательно, при его использовании, вероятность отбраковки правильных данных мала. Очевидно также, что для случая временной интерполяции скорости ветра критерий K завышен. Практически можно использовать значения $K=0,5$ м/сек.

Полученные результаты дают положительный ответ на вопрос о принципиальной возможности использования даже простейших схем интерполяции для целей критического анализа средних месячных данных по основным метеорологическим элементам.

Применение этих схем для анализа данных на ЭВМ не требует существенных затрат машинного времени. Достаточно указать, что определение невязок интерполяции для одного элемента по данным 60 станций с учетом времени на ввод исходных данных и печать всех промежуточных и окончательных результатов требует лишь 3—4 минуты машинного времени на ЭВМ «Урал-4».

Следует иметь в виду, что нами рассматривались равнинные районы со сравнительно густой сетью станций. Районы с более сложными условиями пока не изучались. Более того, и по выбранным районам рассмотрены еще не все метеорологические элементы. Точность интерполяции некоторых метеорологических элементов является еще невысокой. Выяснение практических возможностей контроля этих элементов, а также контроля в районах со сложными условиями, потребует проведения дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дроздов О. А. О принципах рационализации сети метеорологических станций. Труды ГГО, вып. 123, 1961.
2. Берлин И. А., Школяр Л. Ф. О возможности проведения анализа данных влажности воздуха на электронных вычислительных машинах (см. наст. сб.).
3. Светлова Т. П. О приложении методики объективного анализа к контролю наземного поля давления (см. наст. сб.).
4. Светлова Т. П. Опыт критического анализа данных температуры на ЭВМ «Урал-4» (см. наст. сб.).
5. Гущина М. В., Полищук А. И. О точности интерполяции месячных и сезонных сумм осадков (см. наст. сб.).
6. Алексеева Е. Г., Грошева Л. А. О критическом анализе средних месячных значений скорости ветра (см. наст. сб.).
7. Копычева В. С., Полищук А. И., Светлова Т. П. К вопросу о контроле данных по количеству облачности и продолжительности солнечного сияния (см. наст. сб.).
8. Светлова Т. П. Контроль полей среднего месячного давления и средней месячной температуры у земли с помощью ЭВМ «Урал-4». Труды ГГО, вып. 214, 1967.
9. Каган Р. Л., Дроздовская П. П. Об интерполяции метеорологических элементов во времени. Труды ГГО, вып. 194, 1966.
10. Берлин И. А., Каган Р. Л. К вопросу об автоматизации контроля метеорологических данных. Труды ГГО, вып. 194, 1966.
11. Руководство по первичной обработке материалов метеорологических наблюдений. Гидрометеониздат, Л., 1957.
12. Руководство по подготовке метеорологических ежегодников. Гидрометеониздат, Л., 1955.

О ТОЧНОСТИ ИНТЕРПОЛЯЦИИ МЕСЯЧНЫХ И СЕЗОННЫХ СУММ ОСАДКОВ

Наблюдения за количеством выпадающих осадков производятся на обширной сети гидрометеорологических станций и постов. Результаты этих наблюдений широко используются в научных целях и в хозяйственной деятельности Советского Союза. Поэтому необходимо, чтобы сведения об осадках не содержали ошибочных данных, которые могут возникнуть в результате неправильной установки приборов или их неисправности, а также допуска ошибок при наблюдениях. Для этого все данные об осадках, поступающие непосредственно в работу или в печать, проходят критический просмотр и технический контроль в гидрометеорологических обсерваториях. До настоящего времени процессы критического просмотра и контроля являются очень трудоемкими и требуют большой затраты времени. Например, для проведения критического просмотра ежемесячно составляют карты осадков, на которые наносят месячные суммы осадков, число дней с осадками, максимум осадков за сутки и даты его наблюдения. Анализ таких карт, кроме того, допускает некоторый субъективизм в оценке качества наблюдений.

В настоящее время с развитием вычислительной техники появилась возможность осуществлять просмотр, анализ и контроль данных об осадках с помощью электронных вычислительных машин (ЭВМ) [5].

Контроль метеорологических данных, полученных в отдельном пункте, сводится при этом к интерполяции по данным на окружающих станциях и нахождению разности между истинной и интерполированной величиной. Полученные таким образом невязки интерполяции характеризуют точность контролируемых данных.

Рассмотрим некоторые итоги проведенных по такой схеме опытов по оценке точности интерполяции данных об осадках. Опыты интерполяции месячных и сезонных сумм осадков производились на ЭВМ «Урал-4» по программе, составленной Т. П. Светловой [5].

В первую очередь был сделан анализ данных наблюдений регулярной осадкомерной сети, которые были использованы в работах [3, 4] при проведении статистического анализа поля сумм жидких осадков на территории северо-восточной части УГМС Центральные области, географическое описание которой см. в работе [3]. Схема расположения осадкомерных пунктов приведена на рис. 1.

При вычислении невязок интерполяции месячных сумм жидких осадков использованы данные наблюдений за май—сентябрь 1957, 1958 и 1961 гг. Таким образом рассмотрено 15 месяцев.

Осадки имеют большую изменчивость во времени и пространстве. Согласно [2], более устойчивы относительные отклонения сумм осадков от норм

$$f'_i = \frac{f_i - N_i}{N_i},$$

где f_i — сумма осадков на станции, N_i — норма осадков для той же станции.

Именно эти величины и рассматривались на каждой станции. В настоящее время нормы определены не для всех пунктов наблюдений. Поэтому в качестве нормы принималась средняя сумма осадков $\bar{f}$ в пункте за десятилетие с 1951 по 1960 г.

Полученные в результате вычислений невязки интерполяции для каждой станции

$$\Delta f_i = f_{i_{\text{инт}}} - f_i,$$

где $f_{i_{\text{инт}}}$ — интерполированная величина осадков в пункте, выражалась в процентах от средней арифметической суммы осадков на рассматриваемой территории.

В качестве примера на рис. 1 приведены относительные невязки интерполяции для июля 1961 г. Значения невязок нанесены справа от знака осадкомерного пункта. При рассмотрении поля невязок интерполяции видно, что качество интерполяции ухудшается в основном в тех местах, где станции расположены очень неравномерно. Особенно большие невязки встречаются на краевых станциях, где по-существу приходится оценивать ошибки экстраполяции.

Аналогичные оценки невязок интерполяции были получены и для других летних месяцев. По результатам такого анализа была составлена таблица повторяемости относительных невязок интерполяции сумм жидких осадков для всей территории УГМС ЦО и для различных ее частей (табл. 1).¹ В этой же таблице приведена средняя квадратическая ошибка интерполяции σ мм.

Возможная точность интерполяции определяет допустимую невязку, при превышении которой данные считаются сомнительными. При ручной обработке обычно пользуются критерием, принятым в [6], где предельно допустимой величиной отклонения месячной суммы жидких осадков на станции считаются отклонения, не превышающие 30% по сравнению с данными на окружающих станциях.

Если исходить из этого критерия, то, как видно из табл. 1, 70% наблюдений месячных сумм жидких осадков на густой сети УГМС ЦО могут быть признаны удовлетворительными. Остальные данные должны быть подвергнуты дополнительному анализу, так как в число забракованных на ЭВМ сведений попадают данные не только действительно содержащие ошибки, но и не вызывающие сомнений при дальнейшем рассмотрении.

На той же территории для оценок невязок интерполяции рассматривались следующие материалы:

- а) суммы жидких осадков за сезоны 1952—1959 гг. на 40 пунктах,
- б) месячные суммы зимних осадков за январь 1955—1959 гг. на 46 пунктах,
- в) суммы твердых осадков за сезоны 1952—1959 гг. на 37 пунктах.

В табл. 1 содержатся средние характеристики невязок для каждого

¹ Небольшое число относительных невязок интерполяции, больших 100%, в табл. 1 исключено.

Таблица 1

Повторяемость невязок интерполяции сумм осадков

Вид осадков	Период	Число случаев	Количество пунктов в каждом случае	$\bar{f}$ мм	σ мм	Невязки интерполяции Δf %									
						0—10	11—20	21—30	31—40	41—50	51—60	61—70	71—80	81—90	91—100

Северо-восточная часть УГМС ЦО

Густая сеть

Жидкие	Месяц	15	47	66	32	194	177	115	72	57	30	25	15	7	10
	Сезон	5	40	341	16	111	56	21	8	2	1	1			
Твердые	Месяц (январь)	5	46	48	24	88	58	46	13	15	3	4	2	1	
	Сезон	8	37	129	20	127	93	40	19	9	5	3			

Редкая сеть

Жидкие	Месяц	15	15	68	27	68	70	34	25	8	12	4	2	1	1
	Сезон	5	15	337	16	42	22	8	1	0	1	1			
Твердые	Месяц (январь)	10	15	43	24	58	40	25	17	3	3	1	2	1	
	Сезон	10	15	158	14	90	44	12	2	0	1	1			

Территория УГМС ЦО

Все станции

Жидкие	Месяц	9	48	65	29	107	113	87	53	26	15	10	3	4	4
	Сезон	4	48	329	19	87	62	30	5	5	0	1	0	1	1
Твердые	Сезон	5	48	145	18	103	63	39	21	8	1				

Внутренние станции

Жидкие	Месяц	9	32	65	27	82	81	57	33	14	9	3	1	2	3
	Сезон	4	32	326	17	66	38	18	1	3	9	1	0	1	0
Твердые	Сезон	5	32	150	18	72	41	27	12						

Валдайский ливнемерный куст

		14	47	83	24	282	171	77	48	25	16	12	5	4	1
--	--	----	----	----	----	-----	-----	----	----	----	----	----	---	---	---

периода суммирования. Анализ данных этой таблицы показывает, что и при интерполяции месячных сумм твердых осадков результат получился неудовлетворительным, так как в пределах допустимой невязки, оцененной в [6] в 20%, находятся 64% наблюдений.

Несколько лучшими оказались результаты интерполяции сезонных сумм осадков за летний и зимний периоды. Согласно допуску, определяемому в 20%, за летние сезоны будут признаны сомнительными 16% данных наблюдений, а за зимние сезоны — 26%.

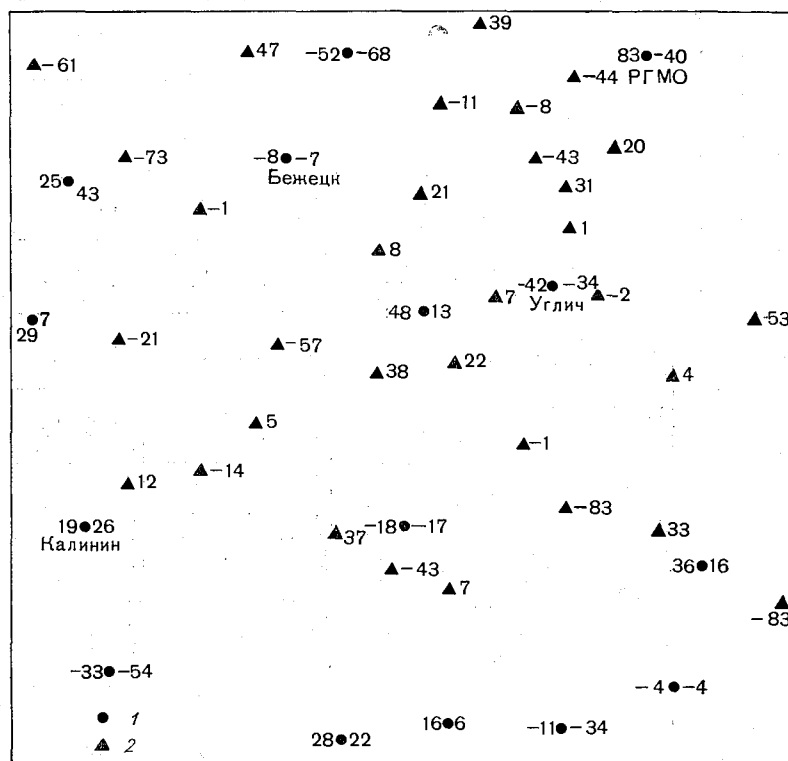


Рис. 1. Поле относительных невязок интерполяции сумм осадков за июль 1961 г. на территории северо-восточной части УГМС ЦО.

1 — станции; 2 — посты.

Интересным оказался результат, когда для того же района при интерполяции были исключены наблюдения постов и рассматривались только данные станций. На рис. 1 для июля 1961 г. слева от знака станций нанесены относительные невязки такой интерполяции. Значения их в большинстве случаев оказались либо меньшими, либо того же порядка, что и при интерполяции с учетом наблюдений на постах.

Рассмотрим повторяемость невязок интерполяции по данным редкой сети (15 станций) в табл. 1. Приведенные для сравнения данные повторяемости невязок интерполяции ≤ 20 и $\leq 30\%$ по густой и редкой сети (табл. 2) показывают, что качество интерполяции не ухудшается, а в некоторых случаях даже становится лучше. Это обстоятельство не является неожиданным, так как наблюдения на осадкомерных постах производятся менее качественно.

В связи с этим представляло интерес проанализировать наблюдения сети одних только станций на большей территории.

Таблица 2

Повторяемость (%) невязок интерполяции сумм осадков
на территории северо-восточной части УГМС ЦО

Невязки интерпо- ляции Δf %	Густая сеть				Редкая сеть			
	жидкие осадки		твердые осадки		жидкие осадки		твердые осадки	
	месяц	сезон	месяц	сезон	месяц	сезон	месяц	сезон
≤ 20	53	84	64	74	61	85	65	89
≤ 30	69	94	84	88	76	96	82	97

Для этой цели из существующей сети станций на всей территории УГМС ЦО рассматривалось 48 станций, которые расположены таким

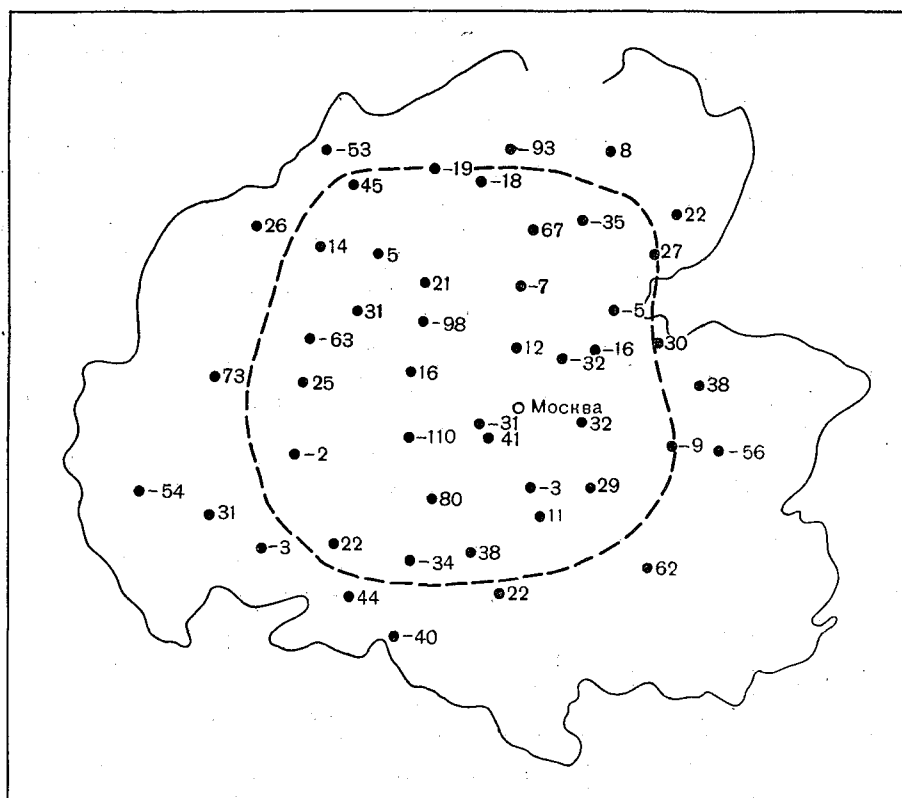


Рис. 2. Поле относительных невязок интерполяции сумм осадков за июль 1961 г. на территории УГМС ЦО.

образом, что расстояние между ними несколько превышает обычное (рис. 2). На этих станциях анализу подверглись данные следующих наблюдений:

- суммы жидких осадков с мая по сентябрь 1961, 1962 гг.,
- суммы жидких осадков за 4 сезона 1962—1965 г.,
- суммы зимних осадков за 5 сезонов 1962—1966 г.

В данном случае невязки интерполяции относились не к среднему по площади слою осадков, а к величине осадков, полученной в результате интерполяции для каждой станции.

На рис. 2 представлено поле относительных невязок интерполяции сумм осадков за июль 1961 г. Невязки интерполяции и в случае редкой сети имеют большой разброс, что также видно из данных табл. 1 для всей территории УГМС ЦО, иллюстрирующих повторяемость невязок интерполяции по всем анализируемым станциям и только по внутренним (район, включающий только внутренние станции, на рис. 2 выделен пунктирной линией). Однако качество интерполяции при этом не улучшилось. Даже в случае, когда рассматриваются лишь внутренние станции, 25% данных о суммах жидких осадков за месяц превышают допуск отбраковки. Для сезонных сумм эта цифра составляет 20 и 35% для жидких и твердых осадков соответственно.

По интерполяции данных стандартной осадкомерной сети проведен также анализ месячных сумм жидких осадков по данным 47 постов Валдайского ливнемерного куста, рассмотренного в работе [4]. Всего было исследовано 14 летних месяцев за 1951, 1953 и 1956 гг. Повторяемость невязок интерполяции по этим данным приведена в табл. 1, из них сомнительными могут быть признаны только 17% данных наблюдений.

Очевидно, такой эффект можно отнести за счет более плотного размещения постов на площади. Такое расположение пунктов наблюдений за осадками характерно только для осадкомерных кустов, создаваемых для специальных исследовательских целей.

Опыты по определению точности интерполяции сведений об осадках проводятся не впервые. Так, по данным работы Е. И. Абрамовой [1], повторяемость отклонений $\leq 30\%$ месячного количества осадков от среднего по району отдельных станций составляет 91 и 95% соответственно для зимы и лета. Эти результаты отличаются от приведенных выше. По-видимому, при выполнении работы [1] отбраковка исходных данных проводилась более строго. Можно предполагать, что по этой же причине и результаты интерполяции числа дней с осадками (табл. 3) не совпадают с распределением отклонений от среднего по району числа дней с осадками, полученными в работе Е. И. Абрамовой.

Таблица 3

Повторяемость невязок интерполяции числа дней с осадками за месяц на территории УГМС ЦО

Станции	Число случаев	Количество станций в каждом случае	$\bar{f}$ дней	σ дней	Невязки интерполяции Δf %									
					0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
все	9	48	14	18	226	112	54	22	7	2	3	1	1	1
внутренние	9	32	14	16	158	72	31	8	4	1	3			

Результаты, приведенные в табл. 3, получены при интерполяции числа дней с осадками за май и июнь 1961—1965 гг. При существующем допуске отбраковки, равном 20%, не вызывающими сомнения оказываются 80% данных.

Возможно, совместный анализ данных о суммах осадков и о числе дней с осадками с последующим сопоставлением интерполяции позволит улучшить результаты при той же методике.

Выводы

1. Опыты применения механизированного анализа и контроля данных на территории УГМС Центральные областей показали, что большая доля наблюдений: 30% для месячных и 16% для сезонных сумм жидких осадков, 36% для месячных и 26% для сезонных сумм твердых осадков, — при принятых допусках отбраковки выдается на сомнение и требует дополнительного анализа.

2. Сгущение и разрядка пунктов наблюдений в пределах существующей сети мало меняет полученные результаты. Значительное сокращение данных, выдаваемых на сомнение, дает только сгущение сети, характерное для специальных осадкомерных полигонов.

3. Большое количество данных, выдаваемых на сомнение, заставляет предполагать, что, кроме линейной интерполяции, для оценки качества наблюдений необходимо привлекать дополнительные критерии, например, связь осадков с другими метеорологическими элементами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. И. Абрамова. О допусках, принятых при обработке наблюдений над осадками, высотой снежного покрова и облачностью. Труды ГГО, вып. 34 (96), 1952.
2. Б. П. Алисов, О. А. Дроздов, Е. С. Рубинштейн. Курс климатологии. Ч. I и II. Гидрометеиздат, Л., 1952.
3. М. В. Гущина, Р. Л. Каган. О статистической структуре поля осадков. Труды ГГО, вып. 191, 1967.
4. М. В. Гущина, Р. Л. Каган, А. И. Полищук. О точности определения среднего слоя осадков на площади. Труды ГГО, вып. 208, 1967.
5. Т. П. Светлова. Контроль полей среднего месячного давления и средней месячной температуры у земли с помощью ЭВМ «Урал-4». Труды ГГО, вып. 214, 1967.
6. Руководство по первичной обработке материалов метеорологических наблюдений. Гидрометеиздат, Л., 1957.

И. В. ЛИТВИНОВ, И. С. ПАВЛОВА, А. И. ПОЛИЩУК

НЕКОТОРЫЕ ДАННЫЕ О СТРУКТУРЕ ПОЛЯ ЗИМНИХ ОСАДКОВ

За последнее время в связи с требованиями повышения качества и достоверности гидрометеорологической информации возрос интерес к изучению закономерностей распределения осадков на площади. В работах [3, 5, 6, 7, 8] показано, что если определена корреляционная функция поля осадков, то можно при помощи простых уравнений оценить точность определения среднего количества осадков, выпавших на территории, по данным измерений сети осадкомеров в зависимости от густоты этой сети (расстояния между осадкомерами). Кроме того, возможно оценить разброс показаний осадкомеров, расположенных на различном расстоянии один от другого, разброс средних значений осадков, измеренных на двух полигонах, расположенных на некотором расстоянии один от другого, и ряд других величин, необходимых для детального изучения поля осадков.

В настоящее время имеется большое количество экспериментальных работ, в которых приводятся данные о корреляционной функции жидких осадков в различных районах СССР [1, 2, 3]. В этих работах использованы как материалы регулярной осадкомерной сети, так и данные специально созданных сгущенных пунктов осадкомерных наблюдений (так называемых осадкомерных кустов).

Сведений о статистической структуре поля зимних осадков в настоящее время в литературе мало, и они весьма отрывочны. В работах [4, 9] приведены результаты статистического анализа месячных сумм зимних осадков по данным наблюдений сети станций и постов. Несомненно, представляет интерес исследование изменчивости сумм зимних осадков за меньшие интервалы времени.

Зимой 1965-66 г. в районе г. Обнинска были поставлены измерения осадков на значительной территории, причем через небольшие интервалы времени. В данной статье приводятся результаты исследования корреляционных функций этих осадков.

Территория, на которой располагается метеорологический полигон, занимает площадь около 20 000 км² в Калужской и частично в Московской областях. По форме эта территория близка к кругу радиусом 70 км с центром в г. Обнинске. Рельеф местности в основном равнинный, только в северном и северо-западном секторах имеют место возвышенности 100—150 м высотой.

Измерение осадков на территории полигона производилось в 350 пунктах. Осадкомерные пункты располагались, по возможности, равномерно,

в центре полигона сеть их была более густая, чем на окраинах. Осадкомеры, как правило, устанавливались на опушках леса или в приусадебных участках, засаженных фруктовыми деревьями. Программа работ всех осадкомерных пунктов включала измерения количества и определение вида осадков в 9, 12, 15, 18 и 21 час. Из общего числа пунктов, проводивших наблюдения, было выбрано 30, отмеченных на рис. 1. Материал наблюдений по этим пунктам после детального просмотра оказался достаточно однородным и пригодным для статистической обработки.

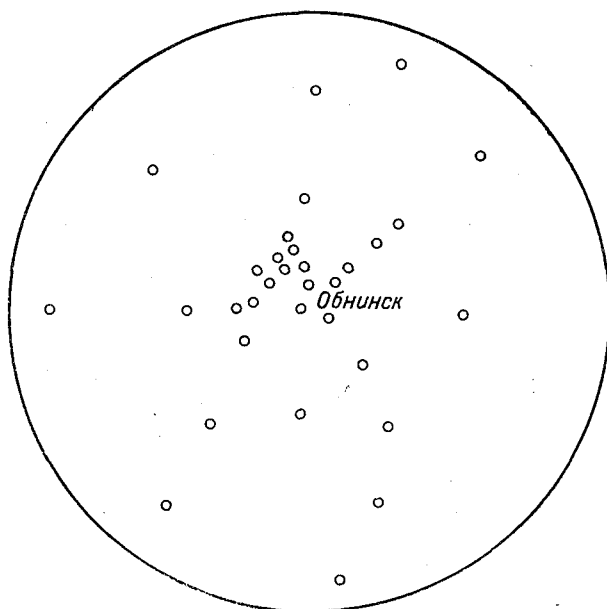


Рис. 1. Схема расположения осадкомерных постов.

Коэффициенты корреляции для каждой пары точек для временных интервалов в 3, 12 и 24 часа и отдельно для всех трехчасовых интервалов вычислялись в ГГО на ЭВМ «Урал-4». Всего для каждого периода наблюдений было вычислено по 435 коэффициентов корреляции. При их вычислении учитывались только те случаи, когда осадки отмечались в обоих рассматриваемых пунктах. Помимо этого, для каждого пункта вычислялось среднее по всему ряду наблюдений количество осадков. При анализе результатов было обнаружено, что на некоторых постах количество осадков систематически занижалось по сравнению с суммами в окружающих пунктах. По-видимому, это явилось следствием влияния ветра на показания осадкомеров. В отдельных случаях число измерений осадков в некоторых пунктах значительно отличалось от числа измерений на ближайших постах. Данные таких пунктов были исключены из последующего анализа. Всего для каждого из сроков были забракованы данные наблюдений по 2—4 пунктам. Индивидуальные коэффициенты корреляции группировались по градациям расстояний и осреднялись. Средний коэффициент корреляции относился к среднему для данной градации расстоянию.

Вычисленные средние коэффициенты корреляции по всем периодам суммирования представлены в табл. 1. Там же приведены величины среднего слоя осадков $\bar{x}$ мм, дисперсии σ^2 мм², среднего квадратического

Таблица 1

Корреляционные функции сумм осадков

Градация		Среднее расстояние, км		Периоды суммирования											
расстояние, км	сутки	09—21 час.		21—09 час.		09—12 час.		12—15 час.		15—18 час.		18—21 час.		3-часовой	
		число случаев	r	число случаев	r	число случаев	r	число случаев	r	число случаев	r	число случаев	r	число случаев	r
0—5	4,4	8	0,83	5	0,78	5	0,56	6	0,70	5	0,63	5	0,48	5	0,53
6—10	8,08	15	0,83	15	0,78	13	0,64	18	0,56	15	0,72	15	0,40	15	0,55
11—15	12,5	25	0,86	20	0,79	19	0,73	19	0,67	20	0,66	20	0,48	20	0,61
16—20	17,2	30	0,86	26	0,76	22	0,63	27	0,60	26	0,67	25	0,49	26	0,57
21—25	22,2	30	0,86	28	0,76	24	0,70	24	0,59	28	0,60	23	0,49	28	0,56
26—30	28,4	33	0,86	32	0,80	28	0,64	30	0,69	29	0,65	29	0,48	32	0,51
31—35	33,4	20	0,88	19	0,83	19	0,68	18	0,65	16	0,53	16	0,45	29	0,54
36—40	37,6	30	0,83	29	0,76	28	0,57	30	0,62	26	0,51	22	0,45	29	0,47
41—45	42,3	33	0,78	32	0,71	30	0,56	34	0,61	29	0,46	26	0,37	32	0,45
46—50	47,9	32	0,78	29	0,72	25	0,60	30	0,64	25	0,54	23	0,43	25	0,45
51—55	52,4	26	0,82	25	0,77	24	0,58	23	0,57	22	0,52	21	0,40	21	0,52
56—60	57,5	22	0,79	21	0,72	21	0,62	23	0,64	21	0,52	21	0,40	21	0,52
61—65	62,7	19	0,80	18	0,76	16	0,53	17	0,54	16	0,48	16	0,41	18	0,44
66—70	67,2	19	0,79	18	0,73	18	0,57	17	0,67	16	0,60	16	0,45	18	0,50
71—75	72,3	16	0,80	16	0,74	15	0,47	16	0,61	15	0,44	8	0,52	16	0,40
76—80	77,3	10	0,79	10	0,76	9	0,55	11	0,56	10	0,52	5	0,21	10	0,40
81—85	82,5	14	0,77	13	0,66	13	0,55	13	0,72	11	0,47	11	0,26	13	0,45
86—100	92,4	11	0,75	11	0,66	11	0,44	11	0,65	10	0,43	8	0,33	11	0,38
101—115	107,8	8	0,80	8	0,70	8	0,54	8	0,62	8	0,48	6	0,45	8	0,44
116—130	122,4	3	0,74	3	0,66	3	0,41	3	0,51	3	0,63	1	0,49	3	0,44
$\bar{x}$ мм	3,54	3,54	2,39	2,35	1,06	0,98	1,10	1,18	1,07						
σ мм	4,37	4,37	3,23	2,98	1,30	1,21	1,12	1,19	1,28						
σ^2 мм ²	19,29	19,29	10,61	9,17	1,81	1,57	1,38	1,32	1,69						
C_v	1,23	1,23	1,35	1,27	1,23	1,21	1,02	1,01	1,20						

отклонения от среднего σ мм и коэффициента вариации C_v . Как видно из табл. 1, средняя сумма осадков для всех трехчасовых периодов практически одинакова, т. е. суточный ход сумм осадков не наблюдается. Корреляция сумм осадков хорошо прослеживается до расстояний 100 км для всех рассматриваемых периодов суммирования.

По данным табл. 1 для осадков за сутки, полусутки и трехчасовые интервалы построены графики зависимости коэффициентов корреляции от расстояния, т. е. пространственные корреляционные функции. Как и следовало ожидать, корреляционные функции с расстоянием затухают незначительно. Это вполне естественно для зимних осадков, которые

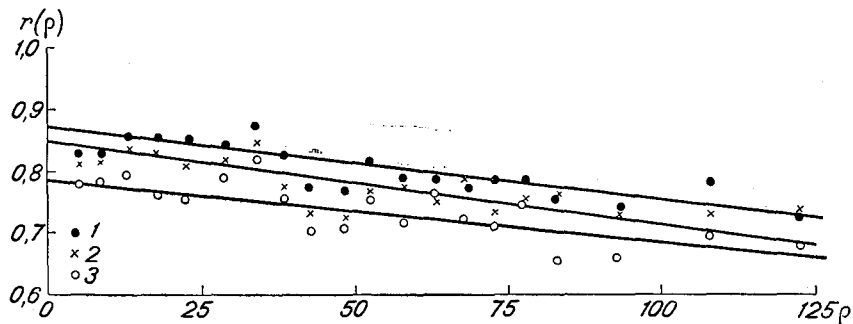


Рис. 2. Осредненные коэффициенты корреляции и корреляционные функции: 1 — сутки, 2 — день (0,9—21 час), 3 — ночь (21—09 час.).

имеют в основном обложной характер. Так, для сумм осадков за сутки на 100 км корреляционная функция убывает на 0,119, а для сумм осадков за трехчасовой период — на 0,085. Приведенные на рис. 2 корреляционные функции аппроксимируются прямыми. Для отдельных трехчасовых периодов графики корреляционных функций не приводятся, так как и для них сохраняется тот же характер зависимости, т. е. в общем виде по данным наблюдений за все сроки корреляционная функция с достаточной степенью точности описывается уравнением прямой вида $r=a-b\rho$ (ρ — расстояние в сотнях километров).

Значения коэффициентов a и b приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов a и b

Коэффициент	Периоды суммирования							
	сутки	09—21 час.	21—09 час.	09—12 час.	12—15 час.	15—18 час.	18—21 час.	3-час.
a	0,87	0,85	0,78	0,75	0,66	0,64	0,66	0,58
b км ⁻¹	0,12	0,14	0,10	0,34	0,08	0,20	0,03	0,25

Быстрота затухания корреляционных функций с расстоянием, характеризующаяся коэффициентом b , для различных периодов различна. Наибольшая величина $b=0,34$ отмечена для сумм осадков за период 09—12 час. Значение коэффициента a определялось путем экстраполяции корреляционной функции до расстояния $\rho=0$ км и, по существу, является величиной $r'(0)$.

Полученные данные являются первым опытом построения пространственных корреляционных функций для малых интервалов времени. Приведенные результаты вычислены по данным наблюдений четырех

зимних месяцев одного года и, безусловно, еще требуют дальнейшего уточнения. Однако на основании уже полученных результатов можно оценить необходимую густоту зимней осадкомерной сети в зависимости от поставленной задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голубев В. С., Зотимов Н. В., Зыков Н. А. Некоторые результаты исследований жидких осадков в районе Валдайской возвышенности. Труды ГГИ, вып. 123, 1965.
2. Гущина М. В., Каган Р. Л. О статистической структуре поля осадков. Труды ГГО, вып. 191, 1966.
3. Гущина М. В., Каган Р. Л., Полищук А. И. О точности определения среднего слоя осадков на площади. Труды ГГО, вып. 208, 1967.
4. Дроздов О. А. О принципах рационализации сети метеорологических станций. Труды ГГО, вып. 123, 1961.
5. Каган Р. Л. О точности определения средней по площади по данным точечных измерений. Труды ГГО, вып. 175, 1965.
6. Каган Р. Л. К оценке репрезентативности осадкомерных данных. Труды ГГО, вып. 191, 1966.
7. Каган Р. Л. О редукции метеорологических элементов по площади. Труды ГГО, вып. 191, 1966.
8. Полищук А. И., Каган Р. Л. О статистической структуре осредненных значений метеорологических элементов. Труды ГГО, вып. 191, 1966.
9. Полищук А. И. К вопросу о статистической структуре поля зимних осадков. Труды ГГО, вып. 215, 1967.

О НЕОБХОДИМОЙ ГУСТОТЕ СЕТИ ТЕПЛОБАЛАНСОВЫХ СТАНЦИЙ

В Советском Союзе создана и функционирует сеть станций, на которых проводятся специальные наблюдения, позволяющие определять основные составляющие теплового баланса. Эти станции (их называют теплораспределительными) начали организовываться в 1953 г. в соответствии с приказом ГУГМС № 150 от 25 III 1952 г. вместе с развитием актинометрических наблюдений. Первоначально предполагалось, что теплораспределительные наблюдения будут выполняться на всех станциях, производящих актинометрические измерения, с целью ведения книги приходо-расхода солнечного тепла, как об этом писал А. И. Воейков [1]. Однако несовершенство методики определения составляющих теплового баланса и значительная трудоёмкость измерения исходных данных для массового применения на сети станций не позволили полностью выполнить этот план. Поэтому количество станций, привлечённых для теплораспределительных измерений, в течение всего этого периода менялось в следующем порядке:

Год	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
Число станций	1	7	23	35	47	57	53	32	32	36	41	50	59	63

В настоящее время из 63 действующих станций 30 расположены на Европейской территории СССР (ЕТС), остальные — на Азиатской (АТС), причем распределены они, как видно из табл. 1, чрезвычайно неравномерно, особенно мало этих станций в районах Западной и Восточной Сибири.

Таблица 1
Распределение станций с теплораспределительными наблюдениями по районам

Район	Количество станций	Район	Количество станций
За полярным кругом	2	Средняя Азия	9 ¹
Умеренные широты (65—50°) ЕТС	22	Западная Сибирь	1
Украина и Северный Кавказ	6	Красноярский край	5
Закавказье	3	Якутия	2
Казахстан	7	Южная часть Восточной Сибири	5
		Приморье	1

¹ В том числе пустынных и полупустынных — 4.

Несмотря на сравнительно длинный ряд наблюдений на некоторых станциях (26 из них имеют период наблюдений более 5 лет, а 9 — более 10 лет), расчет составляющих теплового баланса в большинстве случаев не производился, так как вычисление этих величин за отдельные сроки в соответствии с [2] было очень трудоемким. Лишь с введением упрощенных методических приемов [3, 4] непосредственно на станциях начали выполняться расчеты составляющих теплового баланса за отдельные сроки средних суток, причем с 1963 г. они производились по средним исходным данным за пятидневку, декаду или месяц в соответствии с [3], а с 1965 г. — по средним за декаду и месяц исходным данным в теплое время года в соответствии с [4]. Данные наблюдений за исходными величинами для определения составляющих теплового баланса (разности температуры воздуха, упругости водяного пара и скорости ветра в слое 0,5 и 2 м, а также температуры почвы на поверхности и глубинах 5, 10, 15, 20 см) и рассчитанные величины составляющих теплового баланса (турбулентный поток тепла L , затраты тепла на испарение V и поток тепла в почве P) в виде интенсивностей (кал/см² мин.) и сумм за декаду и месяц вписываются в специальные таблицы ТМ-16. В результате изучения накопленного материала по составляющим теплового баланса за конкретные периоды времени можно рассматривать вопрос о необходимой густоте сети станций с теплобалансовыми наблюдениями.

Как известно, густота сети наблюдений за тем или иным метеорологическим элементом зависит от пространственной изменчивости этого элемента или изменчивости факторов, его определяющих. Основными факторами, определяющими величины составляющих теплового баланса, являются радиационный баланс и свойства деятельной поверхности, главным из которых — состояние ее увлажнения.

Пространственное изменение радиационного баланса, как показали исследования Т. Г. Берлянд [5] и Н. А. Ефимовой [6], выполненные на основании климатологических расчетов, на большей части территории СССР умеренных широт невелико, и в течение бесснежного периода, в месяцы наибольшего значения (июнь—август), не превышает 1—2 ккал.; лишь при смене покрова деятельной поверхности весной и осенью (снег—трава) различия средних многолетних величин радиационного баланса в северных и южных районах составляют более 2 ккал. В изменении величин радиационного баланса за конкретные периоды, о чем можно судить по материалам З. И. Пивоваровой [7], отмечается такая же закономерность, как и в изменении данных, полученных путем климатологических расчетов. Отсюда следует, что за счет притока тепла к поверхности изменчивость составляющих теплового баланса должна быть наименьшей в период наибольших значений радиационного баланса, т. е. в июне—августе.

Но перераспределение радиационного тепла по составляющим теплового баланса зависит от характера деятельной поверхности и в первую очередь от состояния ее увлажнения, которое в целом имеет большую изменчивость, чем радиационный баланс. Общее представление о закономерностях пространственного изменения увлажнения территории СССР дает работа Л. И. Зубенок [8]. В ней по данным климатологических расчетов для теплых месяцев года (с мая по сентябрь) представлены карты показателя увлажнения, характеризующего соотношение испарения и испаряемости. Из карт следует, что в течение всего вегетационного периода на территории СССР, за исключением южных районов ЕТС, пустынь и полупустынь, показатель увлажнения не снижается менее 0,5, а в умеренных широтах в течение всего этого периода составляет 0,5—

0,9. Существенно отметить, что показатель увлажнения изменяется в основном в широтном направлении, причем на ЕТС и в Западной Сибири от 0,7—0,9 в мае до 0,3—0,7 в июле; за счет этого наибольшее изменение составляющих теплового баланса должно наблюдаться при наибольших величинах радиационного баланса. Следовательно, пространственное изменение радиационного баланса и увлажнения поверхности может приводить к изменению составляющих теплового баланса по территории.

Рассмотрим, далее, основные параметры, по которым производится расчет величин турбулентного потока тепла и затрат тепла на испарение, — вертикальные градиенты температуры воздуха Δt и упругости водяного пара Δe (или, как часто принято называть, градиенты влажности).

Таблица 2

Суточный и годовой ход градиента упругости водяного пара
 Δe в слое 0,5—2,0 м по некоторым районам

Станция	Район	Месяц	Часы						Период осреднения, число лет
			1	7	10	13	16	19	
Хибины	Кольский полуостров	V	-0,3	-0,3	-0,7	-0,7	-1,1	-0,8	5
		VI	-0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	
		VII	0,1	0,2	0,4	0,6	0,6	0,3	
		VIII	0,0	0,2	0,4	0,6	0,4	0,4	
		IX	0,0	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	
		X	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	
Рига	Прибалтика	V	0,0	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2	12
		VI	-0,2	0,3	0,5	0,5	0,3	0,2	
		VII	-0,2	0,3	0,5	0,5	0,3	0,2	
		VIII	-0,1	0,3	0,6	0,6	0,4	0,2	
		IX	-0,1	0,2	0,4	0,4	0,3	0,0	
		X	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	
Собакино	Подмосковье	V	-0,1	0,2	0,4	0,4	0,3	0,0	2
		VI	-0,4	0,2	0,5	0,6	0,4	-0,2	
		VII	-0,3	0,2	0,4	0,4	0,3	0,0	
		VIII	-0,3	0,1	0,3	0,4	0,1	-0,1	
		IX	-0,2	0,1	0,3	0,4	0,3	0,0	
Гигант	Сальские степи	V	0,1	0,4	0,7	0,7	0,5	0,3	8
		VI	0,1	0,5	0,8	0,9	0,7	0,4	
		VII	0,2	0,4	0,8	0,6	0,5	0,3	
		VIII	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	
		IX	0,0	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0	
		X	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,0	
Телави	Закавказье	V	0,1	0,5	1,1	1,1	0,8	0,2	5
		VI	0,1	0,5	1,0	1,2	0,8	0,4	
		VII	0,2	0,6	1,0	1,4	1,0	0,5	
		VIII	0,1	0,4	0,8	0,7	0,5	0,1	
		IX	0,0	0,2	0,5	0,5	0,3	0,0	
		X	0,0	0,0	0,3	0,4	0,1	0,0	
Якутск	Восточная Сибирь	V	0,0	0,2	0,2	0,4	0,3	0,2	5
		VI	0,0	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	
		VII	-0,1	0,3	0,5	0,5	0,4	0,3	
		VIII	-0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	
		IX	-0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,0	

Анализ измеряемых на теплобалансовых станциях величин Δt и Δe показывает, что эти параметры имеют выраженный суточный и заметный годовой ход, связанный с закономерностями изменения радиационного баланса и увлажнения поверхности. Однако градиент температуры и градиент влажности под влиянием этих факторов изменяются по-разному. Ход градиента температуры, как было показано в работе Л. И. Прокофьевой [9], в общем следует за ходом радиационного баланса, увеличиваясь в периоды его возрастания и меняя знак при смене знака радиационного баланса. Состояние увлажнения деятельной поверхности сказывается лишь на абсолютных величинах градиентов температуры воздуха. Например, в пустынных и полупустынных районах средние за месяц градиенты температуры в 13 час. более 1° , а в районах достаточного увлажнения не превышают $0,5^\circ$.

Градиенты влажности, как видно из табл. 2, где приведены их характерные значения для некоторых станций в годовом и суточном ходе, в большей степени, чем Δt , определяются состоянием увлажнения поверхности, что проявляется прежде всего в суточном ходе. Так, смена знака Δe наступает в более поздний срок относительно времени перехода радиационного баланса через нуль, а в теплое время года в районах достаточного увлажнения смена знака может совсем не наблюдаться. Наибольшие средние величины в районах достаточного увлажнения превышают 1 мб, а в засушливых областях мало отличаются от нуля.

Таблица 3

Наибольшая междугодовая изменчивость средних месячных Δt и Δe днем (13 час.) и ночью (1 час)

Станция	Июнь				Сентябрь				Период на- блюдений, число лет
	Δt		Δe		Δt		Δe		
	1	13	1	13	1	13	1	13	
Рига	0,5	0,5	0,7	1,0	0,6	0,4	0,5	0,8	11
Николаевское	0,3	0,7	0,3	1,9	0,4	0,2	0,4	1,3	8
Пинск	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,5	4
Нолинск	0,6	0,7	0,2	0,9	0,2	0,3	0,4	0,5	6
Смоленск	0,6	0,4	0,5	0,6	0,3	0,4	0,1	0,4	6
Каменная Степь	0,5	1,3	0,3	0,4	0,4	0,8	0,2	0,4	8
Куйбышев	0,8	0,5	0,3	0,4	0,7	0,4	0,2	0,3	8
Гигант	0,5	0,9	0,5	0,8	0,4	0,7	0,3	0,5	8
Борисполь	0,3	0,2	0,1	0,6	0,2	0,5	0,2	0,6	6
Полтава	0,6	0,4	0,6	0,8	0,5	0,2	0,4	0,3	6
Берегово	0,3	0,7	0,6	1,1	0,5	0,5	0,4	0,5	8
Аскания-Нова	0,2	0,8	0,4	0,8	0,4	0,7	0,4	0,8	8
Солянка	0,5	0,6	0,4	0,8	0,5	0,9	0,4	0,5	8
Хакасская	0,5	0,6	0,3	0,6	0,1	0,4	0,0	0,4	6
Хомутово	0,4	0,2	0,2	0,5	0,0	0,6	0,2	0,3	4
Сковородино	0,2	0,0	0,1	0,6	0,1	0,3	0,1	0,1	4
Якутск	0,6	0,6	0,3	0,7	0,5	0,4	0,3	0,6	7
Хибины	0,1	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3	4
Фрунзе	0,3	1,0	0,5	1,6	0,4	0,8	0,5	0,5	8
Душанбе	0,2	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	1,2	5
Телави	0,4	0,2	0,3	0,7	0,4	0,5	0,4	1,0	4
Калмыково	0,3	0,4	0,2	1,0	0,3	0,3	0,4	1,1	6
Целиноград	0,3	0,5	0,4	1,0	0,3	0,2	0,3	0,8	5
Айдарлы	0,3	0,7	0,4	0,1	0,4	0,2	0,5	0,4	4
Тамды	0,1	0,6	0,3	1,2	0,4	0,4	0,6	0,6	4
Беки-Бент	0,3	1,3	0,5	1,4	0,2	0,3	0,5	0,4	4

Таблица 4

Отношение месячных сумм составляющих теплового баланса
к радиационному балансу (по средним данным)

Станция	Период осреднения, число лет	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	V—IX
---------	------------------------------------	----	---	----	-----	------	----	---	------

а. Для потока тепла в почве P/B

Хибины	4	3	3	5	6	7	6	—1	5
Петрозаводск	4		5	3	2	1	0	0	2
Николаевское	6		2	2	2	2	—1	—10	2
Торопец	5		5	2	2	3	2	2	3
Смоленск	5		2	1	2	2			2
Рига	11		9	7	4	4	2	—19	3
Пинск	3	3	2	—1	1	1	1	0	1
Берегово	8	5	5	4	4	3	1	0	3
Аскания-Нова	8	11	5	5	5	6	3	—8	5
Борисполь	6	6	8	3	4	3	4	1	4
Полтава	6		3	2	3	2	2	0	2
Гигант	7	6	4	2	3	4	2	1	3
Каменная Степь	6		11	8	10	7	2	—2	7
Куйбышев	7		6	6	4	3	3	1	4
Кострома	6		4	2	2	1	3	0	2
Нолинск	6		4	4	2	2	5		4
Калмыково	4		5	4	7	6	6	7	6
Целиноград	5		4	1	4	2	5		3
Айдарлы	4	5	1	2	3	2	1		2
Солянка	7		3	3	3	2	4		3
Хомутово	3		3	2	3	2	2		2
Сковородино	4			4	4	4	1		3
Якутск	6		6	8	8	7	5		7
Душанбе	4	12	4	2	3	7	—6	1	3
Телави	4	5	3	2	2	2	2	1	2

б. Для турбулентного потока тепла L/B

Хибины	4		27	26	33	28	13		29
Николаевское	6		15	18	15	14	10		14
Торопец	5		16	17	17	12	18	8	15
Смоленск	5		18	15	23	20	13	4	18
Рига	11		25	20	21	18	21	—6	23
Пинск	3	6	11	24	26	14	11	15	16
Берегово	8	13	14	13	17	28	32	35	21
Аскания-Нова	8	31	36	41	47	59	59	44	48
Борисполь	6	44	29	30	33	30	32	32	31
Полтава	6		19	27	32	32	31	3	29
Гигант	7	24	15	18	29	48	51	31	32
Каменная Степь	6		14	24	15	25	16	1	19
Куйбышев	7		19	22	20	20	16	21	19
Нолинск	6		20	29	20	24	9		18
Калмыково	4		39	54	64	60	49	52	53
Целиноград	5		52	43	46	43	47	60	46
Айдарлы	4	56	60	55	46	63	51	48	55
Солянка	7		33	22	26	36	16		27
Хомутово	3		41	42	35	38	34		38
Сковородино	4			23	14	16	27		20
Якутск	6		49	42	40	35	53		43
Душанбе	4	7	8	5	22	29	36	34	17
Телави	4	20	11	17	13	23	36	33	18

Станция	Период осреднения, число лет	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	V—IX
---------	------------------------------------	----	---	----	-----	------	----	---	------

в. Для затрат тепла на испарение V/B

Хибины	4		70	66	62	64	68		66
Николаевское	6		82	80	82	84	92		84
Торопец	5		80	81	82	85	80	88	82
Смоленск	5		80	84	75	79	83	89	80
Рига	11		66	73	75	78	78	125	74
Пинск	3	91	87	76	74	85	85	86	83
Берегово	8	82	81	83	79	69	67	65	76
Аскания-Нова	8	50	59	54	48	35	39	64	47
Борисполь	6	49	62	66	64	67	64	67	65
Полтава	6		78	71	65	66	66	97	69
Гигант	7	71	81	81	67	47	47	58	65
Каменная Степь	6		76	67	74	69	82	99	74
Куйбышев	7		73	72	77	83	82	78	77
Кострома	6		85	96	87	90			90
Нолинск	6		76	77	78	74	86		78
Калмыково	4		56	42	30	34	45	41	41
Целиноград	5		44	57	50	56	49		51
Айдарлы	4	39	39	43	50	34	47	47	43
Солянка	7		63	75	71	62	80		70
Хомутово	3		56	56	62	60	66		60
Сковородино	4			73	82	82	72		77
Якутск	6		45	52	51	60	42		50
Душанбе	4	80	89	93	79	70	70	67	80
Телави	4	75	86	80	85	75	62	75	80

Можно также отметить, что междугодовая изменчивость (под которой будем понимать разность между наибольшими и наименьшими значениями средних месячных величин Δt и Δe за период наблюдения), приведенная для ночного и дневного сроков в табл. 3, довольно велика для любых районов и в большинстве случаев сравнима со средними величинами. Отметим, что данные табл. 3 получены по средним за разные периоды наблюдений, поэтому они дают лишь общее представление об изменении величин Δt и Δe от года к году.

Для сопоставления пространственного изменения величин составляющих теплового баланса целесообразно выбрать безразмерный критерий; им может служить отношение каждой из составляющих к радиационному балансу (в дальнейшем будем называть его просто отношением). Общие закономерности этих отношений по некоторым станциям рассматривались в работе [10].

Используя более подробные сведения о составляющих за счет привлечения большего периода наблюдений и большего числа станций, можно несколько уточнить эти закономерности. Прежде всего, как следует из табл. 4, отмечается небольшая пространственная изменчивость доли тепла от радиационного баланса, затрачиваемая на теплообмен в почве. В месячных суммах она не превышает 10% в среднем за рассматриваемый период наблюдений. Отмечается некоторое увеличение этой доли в северных районах (Хибины, Якутск) и в южных сухих (Аскания-Нова, Калмыково), а также преимущественное уменьшение ее от весны к осени со сменой знака, что означает начало теплоотдачи почвы еще при наличии радиационного притока к поверхности.

Следовательно, относительная доля месячных сумм радиационного притока, затрачиваемая на изменение теплового состояния верхнего слоя почвы, невелика и мало зависит от широтно-долготных факторов и состояния увлажнения поверхности. Необходимо, однако, помнить, что в отдельные часы суток это соотношение значительно возрастает. Так, в ночные часы теплоотдача почвы в основном компенсирует излучение с поверхности; в предполуденные часы, когда поток в почве имеет максимальные значения, отношение его к радиационному балансу, как видно из табл. 5, в несколько раз больше, чем отношение месячных сумм. При этом максимальная доля радиационного притока, участвующая в нагревании почвы, мало меняется в сезонном ходе, увеличиваясь лишь в осенние и ранние весенние месяцы, когда мала величина радиационного баланса.

Таблица 5

Отношение (%) потока тепла в почве к радиационному притоку
в часы наибольших значений потока тепла в почве (10 час.). 1965 г.

Станция	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Хибины			18	15	22	27		
Николаевское		26	19	18	20	22		
Рига		25	22	25	22	26	44	
Смоленск		22	16	20	16	32	33	
Борисполь	28	36	28	32	32	36	40	
Пинск	21	21	18	13	15	23	27	
Берегово	65	45	30	45	32	52	48	
Аскания-Нова	29	32	31	30	34	34	37	
Гигант	21	22	20	21	24	29	36	
Куйбышев		35	42	36	30	43	41	
Кострома		24	15	15	15			
Сковородино			20	24	20	21		
Душанбе	34	22	19	23	24	28	31	29
Тамды		28						
Беки-Бент		35	25	21	23	27	36	40
Целиноград		33	37	39	33	33	32	
Чурук		25	24	24	31	33	30	
Акмолла	16	16	21	24	31	32	30	41
Чарджоу				34	39	45	55	76
Торжок		38	16	16	15	19	20	
Хомутово		32	23	40	27	26		
Торопец		29	24	22	22	24		
Собакино		21	23	20	21	16		
Айдарлы	20	19	19	23	26	24	31	
Солянка		22	12	12	9	18		
Каменная Степь	30	44	33	36	37	45	40	

Основное количество радиационного тепла в месячных суммах распределяется между турбулентным потоком тепла и затратами тепла на испарение с поверхности. Здесь проявляются более четкие временные и пространственные закономерности перераспределения радиационного баланса. Из табл. 46 видно, что расход тепла на турбулентный теплообмен, по данным почти всех станций, превышает 10%, причем на некоторых станциях он составляет более 60% радиационного притока и имеет выраженный сезонный ход. Если проанализировать данные мая и августа, то обнаруживается следующее: в мае величины турбулентного потока тепла, составляющие 20% и менее радиационного баланса, имеют место на 11 станциях из 21, причем эти станции расположены в умеренных широтах Европейской территории Союза и в увлажненных

горных районах (Душанбе, Телави); турбулентный поток тепла, составляющий более 50%, отмечается всего на двух станциях в районе Казахстана; в августе турбулентный поток, составляющий менее 20% радиационного баланса, отмечается всего на семи станциях, а поток, составляющий более 50%, — на трех станциях, расположенных в Казахстане и на юге Украины (Аскания-Нова). Из этих данных следует, во-первых, что в сезонном ходе отношение турбулентного потока к радиационному балансу меняется, а во-вторых, что изменение этого отношения по территории СССР, за исключением пустынных и крайних северных районов, меняется от 20 до 50—60%.

В соответствии с величинами турбулентного потока тепла меняется и отношение затрат тепла на испарение к радиационному балансу. Так, из данных табл. 4в следует, что в умеренной зоне ЕТС, Сибири и в увлажненных горных районах месячные суммы затрат тепла на испарение в течение всего теплого периода года составляют более 75% радиационного баланса, причем в сезонном ходе это отношение меняется мало (в пределах 10—15%); в южной части ЕТС и в целинных районах Казахстана оно уменьшается до 50% и менее, причем наблюдается выраженный сезонный ход с амплитудами 20—30% (Аскания-Нова, Гигант, Калмыково, Айдарлы). Обращает на себя внимание тот факт, что по сравнению с умеренной зоной значения этого отношения в северных районах (Хибины, Якутск) понижены.

В целом за летний период затраты тепла на испарение составляют около 80% радиационного баланса на ЕТС севернее широты 50—52°; южнее этой широты, на юге Украины, Северном Кавказе и в Заволжье, это отношение уменьшается в наиболее засушливых районах до 40% и соответственно возрастает доля затрат тепла на турбулентный теплообмен. В Средней Азии и Казахстане диапазон изменений наибольший в связи с широким изменением ландшафтных условий — от пустыни, где ничтожно мало испарение, до орошаемых оазисов, где затраты тепла на испарение могут превышать 80%. В Сибири также достаточно широкий диапазон изменений этого отношения (от 50 до 80%); при этом обращает внимание одно существенное обстоятельство: в целом за теплый период расход тепла на турбулентный теплообмен здесь больше, чем в районах ЕТС на тех же широтах.

Изменчивость составляющих теплового баланса за конкретные периоды в целом по территории СССР более выражена. В связи с этим представляется необходимым выяснить, какова междугодовая устойчивость этих соотношений. В табл. 6 приведены данные для некоторых станций по максимальной междугодовой изменчивости отношения (разности между наибольшими и наименьшими значениями отношения составляющих к радиационному балансу). Эти данные характеризуют максимальную междугодовую изменчивость отношения за имеющийся период наблюдений. Табл. 6 позволяет сделать следующее заключение: поток тепла в почве имеет изменчивость отношения более 5% в мае на 11 станциях из 23, в июне — на 12, в июле — на 13, в августе — на 7 и в сентябре — на 16, причем в общем эта изменчивость случайна и не связана с определенными районами или поверхностями.

Наибольшая междугодовая изменчивость отношения турбулентного потока тепла и испарения имеет некоторые общие закономерности и соответственно большие значения. Так, значения изменчивости более 30% свойственны станциям, имеющим неустойчивый режим увлажнения и расположенным в степных и лесостепных районах, причем весной (май) и осенью (сентябрь) такая изменчивость наблюдается и в районах достаточного увлажнения. Существенно обратить внимание на тот

Таблица 6

Максимальная междугодичная изменчивость (%) отношения составляющих теплового баланса к радиационному балансу
по месячным суммам

Станция	Период наблюдений, число лет	P/B					L/B					V/B				
		V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX
Хибины	4	5	10	11	12	14	7	23	33	33	80	11	21	34	32	51
Николаевское	6	4	5	4	5	8	25	18	33	30	54	30	22	32	27	60
Торонец	5	10	4	3	4	5	34	30	29	7	32	38	24	19	11	32
Смоленск	5	1	3	6	12	7	38	7	32	24	30	39	9	31	17	28
Рига	11	10	18	12	11	11	34	27	26	40	55	25	25	30	30	52
Пинск	3	2	6	2	1	3	14	16	14	11	28	15	15	8	12	26
Берегово	8	8	11	8	5	10	28	15	29	30	26	16	13	19	34	32
Аскания-Нова	8	8	9	7	10	14	35	34	32	39	39	62	45	22	39	54
Борисполь	6	14	6	9	1	6	30	27	29	43	51	38	28	32	42	46
Полтава	6	6	6	2	5	6	43	29	48	27	42	44	28	47	35	44
Гигант	7	8	3	4	1	3	41	32	47	61	56	49	35	42	45	52
Каменная Степь	6	17	16	22	16	3	32	44	36	10	32	44	59	45	25	22
Куйбышев	7	8	12	8	3	5	52	17	47	33	20	50	23	54	33	22
Нолинск	6	4	7	11	4	8	32	38	12	31	43	34	36	23	30	32
Калмыково	4	1	2	2	2	14	30	5	31	43	43	31	4	26	46	50
Целиноград	5	7	0	9	4	7	50	25	17	30	17	55	21	15	30	21
Айдарлы	4	0	3	1	1	5	32	26	45	46	40	31	25	43	46	44
Солянка	7	5	5	10	10	21	55	34	19	46	82	67	32	17	44	74
Хомутово	8	2	1	6	1	1	28	16	12	7	32	28	16	11	7	31
Скворородино	4	0	0	3	4	3	11	11	7	11	12	13	13	5	10	16
Якутск	6	10	8	14	7	11	30	36	16	15	39	28	32	17	17	74
Душанбе	4	2	2	2	3	8	17	11	25	28	44	15	11	16	17	51
Телави	4	5	3	3	3	7	15	16	17	36	48	16	18	21	38	53

факт, что величина изменчивости отношения турбулентного потока не меньше, чем испарения, а так как абсолютные величины турбулентного потока тепла значительно меньше затрат тепла на испарение, то, следовательно, отношение затрат тепла на испарение к радиационному балансу более устойчиво, особенно в летние месяцы. Увеличение изменчивости в весенние и осенние месяцы связано с возрастанием пространственной изменчивости радиационного баланса.

Приведенные данные показывают, что междугодовая изменчивость отношений турбулентного потока тепла и затрат тепла на испарение к радиационному балансу значительно превышает точность определения месячных сумм за конкретные годы, составляющую 10—15%, и определяется изменчивостью как радиационного баланса, так и других факторов влияющих на эти составляющие.

На основании анализа данных наблюдений теплобалансовых станций можно сделать следующее заключение об основных закономерностях теплового баланса.

1. Пространственная и временная изменчивость основных факторов, определяющих тепловой баланс (прихода тепла за счет радиационного баланса и состояния увлажнения поверхности), приводит к пространственной и временной изменчивости составляющих теплового баланса.

2. Изменение составляющих теплового баланса во времени находится в прямой связи с изменением радиационного баланса, хотя эта связь для отдельных составляющих проявляется по-разному. В суточном ходе в полном соответствии с радиационным балансом меняется только турбулентный поток тепла; поток тепла в почве имеет максимум до наступления максимума радиационного баланса, а затраты тепла на испарение на увлажненных поверхностях в вечернее время имеют разные знаки с радиационным балансом. В сезонном ходе большее влияние, чем радиационный баланс, оказывает состояние увлажнения поверхности, при этом на изменении величин потока тепла в почве оно сказывается незначительно, тогда как распределение турбулентного потока тепла и затрат тепла на испарение подчиняется закономерностям увлажнения поверхности.

3. Пространственное распределение составляющих теплового баланса находится в сложной зависимости от характера пространственного изменения радиационного баланса, состояния увлажнения поверхности и общих климатических факторов. Как известно, например, из экспедиционных работ в Средней Азии [11], практически в одних и тех же условиях радиационного притока тепла может быть противоположное его перераспределение: в орошаемом оазисе все приходящее тепло затрачивается на испарение, в пустыне — на турбулентный теплообмен.

4. При общем широтном (с севера на юг) увеличении прихода радиационного тепла и уменьшении увлажнения поверхности наблюдается общая тенденция к уменьшению затрат тепла на испарение и к увеличению турбулентного потока тепла, но закономерности здесь более сложные.

Отношение месячных сумм потока тепла в почве к радиационному балансу как за длительный период осреднения, так и за конкретные месяцы не превышает 10% (значительно меньше этой цифры) и мало зависит от характера почв и времени года; лишь в северных районах, сухих областях и в период начала прогревания почвы месячные суммы потока тепла в почве могут составлять несколько более 10% радиационного баланса. Однако в суточном ходе в предполуденные часы роль потока тепла в почве увеличивается и отношение его к радиационному притоку доходит до нескольких десятков процентов.

5. Основная доля радиационного тепла перераспределяется между турбулентным потоком тепла и затратами на испарение. В среднем за теплый период (май—сентябрь) затраты тепла на испарение, составляющие 70—80% радиационного баланса, свойственны умеренным широтам ЕТС севернее 50—52°; южнее отношение уменьшается до 40%, и соответственно возрастает доля тепла, приходящаяся на турбулентный теплообмен. Намечается тенденция к уменьшению отношения в северных широтах (за полярным кругом) и в восточной части ЕТС. В Средней Азии и Казахстане отношение затрат тепла на испарение к радиационному балансу меняется в широком диапазоне — от 10—15% в пустынных и полупустынных областях до 80—90% в орошаемых оазисах. В Сибири и на Дальнем Востоке также широкий диапазон изменения отношения, но по данным ряда станций, которые в основном расположены в южной части территории, а также по данным станции Якутск следует, что турбулентный теплообмен здесь на 10—20% больше, чем в тех же широтах ЕТС.

6. Пространственное изменение отношения месячных сумм составляющих теплового баланса к радиационному балансу за конкретные годы значительно больше. Наибольшая межгодовая изменчивость отношения как турбулентного потока тепла, так и затрат тепла на испарение в весенние и осенние месяцы составляет более 50%; в летние месяцы она уменьшается, но в районах с неустойчивым увлажнением доходит до 30—40%.

7. Сопоставление составляющих теплового баланса по ландшафтным зонам [10], которое было сделано в соответствии с геоботанической картой СССР [12], показало, что эти составляющие для поверхностей однотипных ландшафтов близки по значениям, что вполне естественно, так как растительность развивается в соответствии с условиями притока тепла и условиями увлажнения, а эти условия определяют и составляющие теплового баланса.

Выяснив общие закономерности в распределении составляющих теплового баланса на территории СССР, перейдем к рассмотрению вопроса о необходимой густоте сети теплобалансовых станций.

Густота сети станций с теплобалансовыми наблюдениями должна определяться, с одной стороны, ландшафтными особенностями изучаемых поверхностей, а с другой — конкретными задачами использования данных теплобалансовых наблюдений. Нам представляется, что в последнее время входит решение воднобалансовых задач, выяснение закономерностей формирования и изучение микроклиматического режима различных поверхностей, в том числе сельскохозяйственных полей и др. Для решения первой задачи необходимо выполнять систематические наблюдения, чтобы выяснить влияние особенностей режимных характеристик теплового баланса на формирование типичных условий ландшафтов; для решения второй задачи можно ограничиться специальными эпизодическими наблюдениями.

Теплобалансовые наблюдения ведутся всего в 16 из 27 основных растительных зон, взятых в соответствии с геоботанической картой СССР. Совсем не охвачены ими горные и высокогорные, тундровые и субтропические ландшафтные зоны. Количество станций по зонам разных видов растительных поверхностей распределено также чрезвычайно неравномерно (табл. 7).

Сопоставим средние за теплый период отношения составляющих теплового баланса к радиационному балансу, полученные по наблюдениям на станциях в одной и той же растительной зоне (табл. 8). Несмотря на то что в пределах одной и той же зоны отмечается большое

Таблица 7

Распределение станций с теплобалансовыми наблюдениями по типам ландшафтов

Ландшафтные зоны	Число станций	Ландшафтные зоны	Число станций
Типичные пустыни	3	Горные лиственные леса . . .	1
Эфемерные пустыни	6	Широколиственные леса . . .	4
Остепненные пустыни	2	Широколиственно-хвойные	
Типичные степи	7	леса	10
Луговые степи	8	Южнотаежные леса	3
Предгорные степи	3	Среднетаежные леса	6
Остепненные субальпийские		Северотаежные леса	3
луга	3	Северотаежное редколесье . .	1
Пойменные луга	2	Предтундровое редколесье . .	1

различие отношений, связанное как с особенностями поверхностей на отдельных станциях, так и с разными периодами осреднения сравниваемых данных, тем не менее наблюдается закономерное (от зоны к зоне) изменение отношений. Так, отношение для затрат тепла на испарение в зоне южно-таежных лесов составляет около 90%, в зоне широколиственно-хвойных лесов — 80—85%, широколиственных лесов — 75—80%, луговых степей — 60—70%, типичных степей — 50—65%. Эта закономерность прослеживается независимо от долготного расположения станций, например, в зоне луговых степей станции Борисполь, Полтава, Каменная Степь располагаются на ЕТС, а Хомутово и Солянка — в Сибири, в зоне типичных степей ст. Аскания-Нова — на ЕТС, а Целиноград — в Казахстане.

Таблица 8

Средние (за теплый период) отношения (%) составляющих теплового баланса к радиационному балансу для различных ландшафтных зон

Зона	Станция	P/B	L/B	V/B
Южнотаежные леса	Кострома	2	8	90
	Нолинск	4	18	78
Широколиственно-хвойные леса	Торопец	3	15	82
	Смоленск	2	18	80
	Рига	3	21	76
	Николаевское	2	14	84
Широколиственные леса	Пинск	1	16	83
	Берегово	3	21	76
Луговые степи	Борисполь	4	31	65
	Полтава	2	29	69
	Каменная Степь	7	19	74
	Хомутово	2	38	60
	Солянка	3	27	70
Типичные степи	Аскания-Нова	5	48	57
	Гигант	3	32	65
	Целиноград	3	46	51

Достаточно четкая зависимость отношений составляющих теплового баланса для поверхностей с одинаковым растительным покровом проявляется и в конкретные годы, как видно из табл. 9, где привлечено

Таблица 9

Средние (за теплый период 1965 г.) отношения (%) составляющих теплового баланса к радиационному балансу для различных ландшафтных зон

Зона	Станция	P/B	L/B	V/B	W ¹
Северотаежные леса	Хибины	2	11	87	—
	Архангельск	4	17	79	20
Среднетаежные леса	Петрозаводск	0	10	90	—
	Якутск	1	38	61	16
	Сковородино	3	14	87	22
	Каргополь	6	19	75	25
Широколиственно-хвойные леса	Рига	4	34	62	—
	Тийрикоя	1	35	64	15
	Николаевское	2	27	71	13
	Торопец	2	16	82	12
	Смоленск	3	22	75	32
	Советск	4	19	77	25
	Торжок	1	19	80	20
	Собакино	2	24	74	19
	Павелец	3	39	58	23
	Кушнаренково	2	24	74	20
Широколиственные леса	Пинск	1	16	83	—
	Толстовка	2	22	76	25
	Приморская	3	15	82	27
Пойменные луга	Астрахань	2	30	68	5
	Куйбышев	4	19	77	25
Субальпийские луга	Фрунзе	5	34	61	—
	Телави	1	34	65	18
Луговые степи	Каменная Степь	2	18	80	25
	Полтава	2	20	78	15
	Борисполь	2	32	66	8
	Огурцово	1	34	65	16
	Солянка	3	25	72	17
	Хомутово	3	40	57	9
	Чита	3	44	53	5
Предгорные степи	Термез	5	37	58	9
	Душанбе	2	31	67	10
	Фергана	4	34	62	13
Типичные степи	Целиноград	4	49	47	—
	Рудный	2	48	50	—
	Гигант	2	48	50	12
	Хакасская	3	45	52	10
	Кызыл	3	20	77	31
Эфемеровые пустыни	Беки-Бент	4	85	11	3
	Чарджоу (оазис)	4	46	50	18
Типичные пустыни	Айдарлы	2	62	36	3
	Балхаш	2	54	44	—

¹ W — влажность почвы.

большее количество станций, чем в табл. 8. Однако в конкретные годы различия составляющих по наблюдениям в однотипной зоне на разных станциях больше, чем по средним данным, что вполне естественно объясняется более пестрым распределением увлажнения поверхности. Например, данные наблюдений на ст. Чарджоу значительно отличаются от характерных для этой зоны величин теплового баланса, свойственных ст. Беки-Бент, так как ст. Чарджоу расположена в оазисе и распределение составляющих теплового баланса приближается к условиям предгорных степей. Данные ст. Якутск отличаются от данных, характерных для наблюдений на других станциях, так как Якутск и его ближайшее окружение, в общем входя в зону среднетаежных лесов, имеет своеобразный микроландшафт, и при более детальной классификации относится к пойменным лугам лесной зоны в сочетании с кустарниками и сельскохозяйственными землями.

Эти примеры указывают на тесную связь закономерностей составляющих теплового баланса с характером распределения растительного покрова.

На основании вышесказанного можно сделать заключение, что станции с теплобалансовыми наблюдениями должны располагаться в соответствии с типами природных ландшафтных зон и с учетом широтно-долготных факторов распространения этих зон.

Современная сеть теплобалансовых станций охватывает всего 16 основных растительных зон из 27; не проводятся наблюдения в тундре, субтропиках, в зоне горных ландшафтов. С другой стороны, по-видимому велика сеть теплобалансовых станций в зоне широколиственно-хвойных лесов на ЕТС, а также в зоне пустынь.

Существующую сеть теплобалансовых станций целесообразно пересмотреть с точки зрения более равномерного расположения их в основных ландшафтных зонах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воейков А. И. Климаты земного шара, в особенности России. Избр. соч., т. 1. Изд. АН СССР, М.-Л., 1948.
2. Методические указания гидрометеорологическим станциям, № 5. Под ред. З. И. Пивоваровой. Гидрометеониздат, Л., 1954.
3. Временные методические указания гидрометеорологическим станциям № 5. Под ред. Т. А. Огневой. Изд. ГГО, Л., 1961.
4. Руководство по градиентным наблюдениям и определению составляющих теплового баланса. Под ред. А. Г. Бройдо. Гидрометеониздат, Л., 1961.
5. Берлянд Т. Г. Радиационный и тепловой балансы Европейской территории СССР. Труды ГГО, вып. 10, 1948.
6. Атлас теплового баланса земного шара. Под ред. И. М. Будыко. Междувед. геофизич. комитет и ГГО. М., 1963.
7. Пивоварова З. И. Материалы метеорологических исследований. Карты суммарной солнечной радиации и радиационного баланса на территории СССР за период Международного геофизического года. М., Гидрометеониздат, 1966.
8. Зубенок Л. И. Характеристика увлажнения территории Советского Союза. Труды ГГО, вып. 179, 1965.
9. Прокофьева Л. И. Характеристика градиента температуры в приземном слое воздуха по данным измерений на сети станций. Труды ГГО, вып. 174, 1965.
10. Тимофеев М. П., Кириллова Т. В., Огнева Т. А. Закономерности теплового баланса естественных поверхностей. В сб.: «Современные проблемы климатологии». Гидрометеониздат, Л., 1966.
11. Труды ГГО, вып. 39, 1959.
12. Геоботаническая карта СССР. Изд. АН СССР, 1954.

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГРАДИЕНТОВ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

В расчетные формулы для затрат тепла на испарение и турбулентный теплообмен по методу теплового баланса и методу турбулентной диффузии, используемые на сети станций, в число исходных величин входят разности температуры, влажности воздуха и скорости ветра. Ошибки в измерении исходных величин Δt , Δe и ΔU влекут за собой погрешности расчета составляющих теплового баланса.

Возможные ошибки сводятся к трем основным видам:

1. Случайные ошибки, зависящие от изменчивости градиентов в связи с условиями погоды, особенностями подстилающей поверхности, рельефом и температурной стратификацией.

2. Систематические ошибки, возникающие из-за погрешностей в определении высоты подвески приборов, а также значений параметров шероховатости и уровня слоя вытеснения.

3. Погрешности, связанные с точностью приборов.

В работе Т. А. Огневой [1] дан обзор литературы по вопросу выявления случайных и систематических ошибок измерения разностей температуры и влажности воздуха, а также по вопросу о погрешностях расчета испарения и методам практического устранения их. Как показал Л. Р. Струзер [2], случайные ошибки, зависящие от изменчивости градиентов температуры и влажности воздуха, достигают значительных размеров.

Р. С. Ляпина и Л. И. Прокофьева [3] получили некоторые данные, характеризующие горизонтальную изменчивость вертикальных градиентов температуры и влажности воздуха в двухметровом слое на метеоплощадках в Воейково (под Ленинградом) и в Советске (Тульская область). Полученные данные позволили сделать вывод о том, что в приземном слое при сравнительно однородных поверхностях и на открытых площадках изменение вертикальных градиентов температуры и влажности воздуха в радиусе 50—100 м невелико, оно проявляется лишь при непосредственном приближении к препятствиям на 10—15 м.

В настоящей работе на основании большего количества данных проводится анализ влияния неоднородности подстилающей поверхности, рельефа и различной степени закрытости горизонта вокруг метеорологических площадок (на которых производятся градиентные наблюдения) на горизонтальную изменчивость градиентов температуры и влажности воздуха.

В работе использованы так называемые дополнительные наблюдения, проводившиеся в летний период 1965 г. на 27 теплобалансовых станциях в соответствии с [4].

В комплекс дополнительных наблюдений входят синхронные измерения аспирационными психрометрами температуры и влажности воздуха на основной точке (площадка для проведения постоянных наблюдений) на уровнях 0,5 и 2,0 м и на выносных точках на расстоянии 10, 50 и 100 м от основной точки в наветренном направлении (на уровнях 0,5 и 1,5 м). Проводятся также измерения температуры на поверхности почвы, определение состояния диска солнца, количества облачности, состояния деятельной поверхности на площадке и по маршруту, измерение направления и скорости ветра. Продолжительность одной пары (серии) синхронных наблюдений составляет 12—15 мин., за это время производится 5 отсчетов по психрометрам, наблюдения во всех 3 точках занимают около полутора часов.

В соответствии с [4] наблюдения проводятся 3 раза в месяц — 5, 15 и 25 числа, при условии устойчивой погоды и величинах радиационного баланса не менее 0,2 кал/см² мин.

Поскольку на основной площадке и выносных точках измерения на верхнем уровне производятся на разных высотах (2,0 и 1,5 м) все данные по выносным точкам были приведены к уровню 2,0 м по логарифмическому закону, для чего использована соответствующая таблица из [4].

Обработка материала состояла в том, что данные наблюдений на каждой станции группировались в соответствии с направлением ветра, при котором производилось наблюдение. Далее в каждой группе были осреднены вертикальные градиенты температуры и влажности воздуха на основных и выносных точках, а также их разности. Были рассчитаны горизонтальные градиенты температуры и влажности воздуха на расстояниях 10, 50 и 100 м от точки основных наблюдений и на трех уровнях — на поверхности земли и на высотах 0,5 и 2,0 м.

В табл. 1 представлены средние разности δt° и δe мб между значениями Δt и Δe в основной точке (метеоплощадка) Δt_0 и в выносных точках Δt_b (на расстояниях от метеоплощадки 10, 50 и 100 м), рассчитанные по формулам:

$$\delta t = \Delta t_0 - \Delta t_b, \quad \delta e = \Delta e_0 - \Delta e_b.$$

Для более полного представления об изменчивости вертикальных градиентов температуры и влажности воздуха и выявления горизонтальной изменчивости были рассчитаны повторяемости вертикальных и горизонтальных градиентов разных градаций (табл. 2 и 4) по наблюдениям на всех станциях.

Анализ табл. 1 позволяет установить следующее: если в преобладающем большинстве случаев средние различия вертикальных градиентов температуры воздуха δt по наблюдениям на основной установке и на разных удалениях от нее находятся в пределах до 0,5°, то для градиентов влажности δe они гораздо больше и достигают 1,0 мб; при значительной горизонтальной неоднородности поверхности, как, например, на берегу озера Балхаш при северных и северо-восточных ветрах δe очень велики.

Из табл. 2 видно, что примерно в 50% случаев изменение вертикальных градиентов температуры в радиусе 100 м от метеоплощадки не превышает 0,2°, т. е. находится в пределах точности измерения градиента температуры. По мере увеличения различий между градиентами уменьшается их повторяемость: так величины δt и δe , превышающие 1,0°, наблюдаются лишь в 5—9% от общего числа случаев. Наибольшая повторяемость разностей между вертикальными градиентами влажности также приходится на величину до 0,2 мб, но в этом пределе она составляет

Таблица 1

Средние разности вертикальных градиентов температуры δt°
и влажности воздуха δe мб (первая строка) при разных направлениях ветра
и число случаев наблюдений (вторая строка)

Станция	Направление ветра	δt° на расстояниях, м			δe мб на расстояниях, м		
		10	50	100	10	50	100
Хибины	ЗЮЗ—ЮЮВ	-0,4 6	-0,4 6	-1,1 6	-0,3 6	-0,4 6	-0,5 6
	ССЗ—СЗ	-0,4 4	-0,6 4	0,2 4	-0,3 4	-0,2 4	0,1 4
Николаевское	З—ЮЗ	-0,1 8	0,2 8	0,2 8	0,6 8	0,5 8	1,1 8
	СЗ—СВ	-0,3 5	0,0 5	0,1 5	0,6 5	1,1 5	0,9 5
	Ю—ВСВ	-0,4 7	-0,3 7	-0,2 7	0,0 7	0,0 7	0,0 7
Тийрикоя	ВЮВ—ЮЮВ	-0,2 7	-0,3 6	-0,5 6	0,1 7	-0,8 6	-0,3 6
	З—СВ	-0,5 3	-0,2 3	-0,1 3	0,3 3	-0,1 3	-0,2 3
	З—С	0,1 4	-0,1 4	0,1 4	-0,4 4	-0,2 4	-0,3 4
	ЗЮЗ—ЮЗ	0,1 1	-0,4 1	0,3 1	0,0 1	-0,3 1	-2,1 1
Петрозаводск	З—ССЗ	0,0 6	0,0 1		-0,9 6	-0,3 1	
	ЮЮЗ—ЗЮЗ	0,3 6	-0,4 1		-0,8 6	1,0 1	
	С—ВЮВ	-0,1 3	0,0 1	0,1 1	0,4 3	0,1 1	-0,3 1
Собакино	С—З	0,1 9	0,2 9	0,0 9	0,1 9	-0,3 9	-0,6 9
	ЮЗ—ЗЮЗ	0,3 4	-0,1 4	0,1 4	-0,5 4	-0,4 4	-0,3 4
Советск	С—ВСВ	-0,2 4	-0,5 4	-0,4 4	0,0 4	0,5 4	0,4 4
	ССЗ—ЗСЗ	-0,1 3	0,2 3	0,0 2	-0,3 3	-0,8 3	-0,4 2
	Ю—ЮЗ	0,2 2	0,2 2	0,4 2	0,2 2	-0,2 2	-0,3 2
Смоленск	ВЮВ—ЮЮЗ	-0,1 7	-0,2 7	-0,2 2	-0,1 7	-0,1 7	-0,7 2
	З—ССЗ	0,0 5	0,1 5		0,0 5	-0,1 5	
Павелец	С	-0,1 2	0,0 2	0,0 2	0,0 2	-0,2 2	0,0 2
	З	0,0 2	-0,2 2	0,0 2	0,2 2	0,0 2	0,0 2
Пинск	ВЮВ—СВ	-0,1 8	-0,1 8	-0,1 5	-0,2 8	0,5 8	-1,9 5
	ЗЮЗ—С	-0,3 7	-0,1 5	-0,6 5	0,1 7	-0,5 5	-1,1 5

Станция	Направление ветра	δt° на расстояниях, м			δe мб на расстояниях, м		
		10	50	100	10	50	100
Нолинск	ЮЮЗ—ЮЗ	0,6 2	0,4 2	0,6 2	0,8 2	1,6 2	2,0 2
	С—ЗСЗ	0,0 6	-0,1 6	0,6 2	0,6 6	0,5 6	1,8 2
	ЗЮЗ—ЮЗ	0,0 3	0,2 3		0,5 3	0,9 3	
	В	-0,2 2	0,3 2	0,8 2	0,6 2	-0,1 2	-0,1 2
Кушнареново	ЮЗ—ССЗ	-0,1 13	-0,2 2		0,1 13	0,8 2	
	ЮВ—СВ	-0,2 3	0,0 2		0,3 3	0,7 2	
Каменная Степь	Ю—З	0,0 10	-0,3 10	-0,2 10	-0,8 10	0,0 10	-0,2 10
	З—ССЗ	-0,5 4	-1,0 4	-0,6 4	-0,7 4	0,2 4	0,1 4
	С—ВСВ	-0,4 5	-0,2 5	-0,3 5	0,9 5	0,2 5	1,9 5
Рудный	ССЗ—ЗЮЗ	-0,3 8	-0,1 8	-0,4 8	-0,2 8	-0,3 8	0,1 8
	ССВ—СВ	-0,1 4	-0,2 4	-0,2 4	-0,1 4	0,6 4	0,7 4
	ЮВ—ЮЮВ	-0,2 2	-0,6 2	-0,3 2	0,6 2	1,0 2	0,6 2
Балхаш	ЮЗ—ЮВ	-0,4 18	0,0 18		-0,3 18	-0,2 18	
	С—СВ	-1,0 2	-0,2 2	-0,3 1	-6,9 2	-3,0 2	-5,6 1
Айдарлы	З—С	-0,4 7	-0,1 7	-0,3 7	-0,2 7	0,1 7	-0,1 7
	ССВ—ВСВ	-0,4 6	-0,1 5	0,1 6	0,2 6	0,0 5	0,2 6
	ВЮВ—ЮЮВ	-0,4 6	0,0 6	0,4 5	0,2 6	-0,1 6	-0,2 5
Хакасская	ВЮВ—Ю	-0,8 4	-0,8 5	-0,1 5	0,5 4	0,5 5	0,2 5
Солянка	СЗ	-0,2 1	0,3 1	0,0 1	-0,1 1	0,1 1	0,3 1
	ЮВ	-0,2 1	0,3 1	0,0 1	-0,1 1	0,1 1	0,3 1
	ЮЗ	-0,2 2	-0,2 2	-0,8 2	-1,3 2	-1,8 2	-0,6 2
Кызыл	СВ—ВСВ	-0,2 4	-0,4 4	-0,2 4	-0,2 4	-0,2 4	-0,2 4
	СЗ—ЗСЗ	0,0 1	-0,4 1	-0,2 5	-1,1 1	-0,7 1	-0,4 1
Тура	С—З	-0,2 6	-0,1 6	0,0 2	1,4 6	1,4 6	1,2 2
	ВЮВ—ЮЮВ	-0,1 3	-0,3 3		-0,1 3	0,8 3	

Станция	Направление ветра	δt° на расстояниях, м			δe мб на расстояниях, м		
		10	50	100	10	50	100
Тура	ЗЮЗ	-0,1 1	-0,4 1		0,3 1	0,2 1	
Хомутово	В—ССВ	-0,4 2	-1,2 3	-0,8 3	-1,0 2	-1,2 3	-1,5 3
	ВЮВ—ЮЮВ	-0,2 2	-0,1 1	0,0 1	-0,8 2	-0,2 1	-0,2 1
	ЗЮЗ—ССЗ	-0,6 3	-0,6 3	-0,5 3	-0,3 3	-1,3 3	-0,8 3
Чита	ЮЗ—СЗ	0,0 4	-0,5 3	-1,4 2	0,8 4	-0,1 3	-0,2 2
	В—Ю	-0,2 2	-0,6 2		-1,0 2	0,4 2	
Сковородино	С—ССЗ	0,2 2	-0,3 2	0,2 2	0,2 2	-0,2 2	-0,6 2
	Ю	0,1 1	0,1 1	0,1 1	0,1 1	-0,4 1	-0,3 1
Фрунзе	З—СЗ	0,0 14	0,3 14	0,4 14	-0,6 14	0,0 14	-0,7 14
	ССВ	0,1 1	-0,1 1	0,1 1	-0,1 1	-0,1 1	1,3 1
Душанбе	ЮЗ—ВЮВ	0,7 5	1,0 5	0,3 1	0,1 5	0,0 5	-0,2 1
	ССВ—ССЗ	0,2 5	0,7 5		0,2 5	1,0 5	
Телави	С—В	0,1 6			0,0 6		
Борисполь	СЗ—СВ	-0,3 9	-0,4 9	-0,1 9	-0,3 9	-0,8 9	-0,3 9
	В—ЮЮЗ	0,0 8	0,3 7	0,1 3	0,0 8	0,3 7	0,7 3
	ЮЗ—З	-0,3 4	0,0 5	-0,4 5	0,5 4	0,9 5	0,4 5
Полтава	В—Ю	-0,1 3	-0,2 3	-0,1 3	0,9 3	0,9 3	1,1 3
	З—С	-0,7 3	-0,4 3	-0,2 3	0,5 3	0,4 3	0,3 3

всего 35%, а затем слабо уменьшается с ростом величины разностей и для величин, превышающих 1,0 мб, все еще составляет около 20%.

Горизонтальные разности температуры и влажности воздуха в основной точке и в выносных точках (на расстоянии от основной на 10, 50, 100 м) являются прежде всего результатом неравномерного распределения температуры на поверхности земли, возникающего за счет неоднородности подстилающей поверхности.

Анализ горизонтальных градиентов (табл. 3) показывает, что наибольшую изменчивость имеет температура поверхности земли; горизонтальные разности температуры воздуха на высоте 0,5 м резко уменьшаются, не превышая в большинстве случаев 0,5°, а на высоте 2,0 м

приближаются к 0° , т. е. создается однородность температурного поля. Горизонтальная разность влажности воздуха на уровнях 0,5 и 1,5 м в основной точке и в выносных точках является более изменчивой величиной по сравнению с горизонтальной разностью температуры воздуха и в преобладающем большинстве случаев достигает 1 мб, а в отдельных случаях более значительных величин (например, на ст. Балхаш при северных и северо-восточных ветрах).

Таблица 2

Повторяемость (%) разностей вертикальных градиентов температуры δt° и влажности воздуха δe

Расстояние, м	Число случаев	δt°				δe мб			
		$\pm 0,2$	$\pm 0,3-0,5$	$\pm 0,6-1,0$	$\geq 1,0$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3-0,5$	$\pm 0,6-1,0$	$\geq 1,0$
10	310	50	29	16	5	35	26	22	17
50	276	45	30	16	9	32	27	24	17
100	207	47	29	18	6	34	24	16	26

Из табл. 4 следует, что у поверхности земли наибольшую повторяемость (более 60%) имеют горизонтальные градиенты температуры, превышающие $1,0^\circ$; повторяемость же величин, меньших $1,0^\circ$, невелика. На высотах 0,5 и 2,0 м наблюдается обратная картина: величины градиентов, превышающие $1,0^\circ$, имеют повторяемость всего 2—8%, а чаще всего наблюдаются значения градиентов менее $0,5^\circ$. При этом если повторяемость малых величин горизонтальных градиентов температуры воздуха уменьшается с удалением от основной точки, то повторяемость градиентов, превышающих $0,5^\circ$, наоборот, с удалением от метеоплощадки растет. Так, на расстоянии 10 м от метеоплощадки на высоте 0,5 м повторяемость горизонтальных градиентов температуры более $0,5^\circ$ равна 12%, на высоте 2,0 м — 9%, а на расстоянии 100 м она увеличивается до 23% на уровне 0,5 м и до 14% — на уровне 2,0 м.

Как известно, возникновение горизонтальных градиентов температуры и влажности воздуха вызывает адвекцию положительных или отрицательных потоков тепла и влаги. В слое от поверхности земли до уровня 0,5 м эти потоки могут достигать сравнительно больших величин, в слое 0,5—2,0 м они ослабевают.

В работе Р. С. Ляпиной [5] были сделаны предварительные выводы относительно поправок к составляющим теплового баланса за счет горизонтальной адвекции. Из приведенных таблиц видно, что при горизонтальном градиенте температуры воздуха $0,7^\circ$ на высоте 0,5 м и при горизонтальном градиенте влажности воздуха 0,6 мб поправки к величине турбулентного потока тепла и затратам тепла на испарение достигают $0,04$ кал/см² мин.

По материалам дополнительных градиентных наблюдений на всех станциях более 11% горизонтальных градиентов температуры и более 25% горизонтальных градиентов влажности от общего числа наблюдений превышают величину, равную 0,6. Таким образом, возникает необходимость исследовать более подробно по конкретным станциям зависимость поправок к потокам тепла за счет горизонтальной адвекции

Таблица 3

Средние горизонтальные градиенты температуры $\Delta t'$ и влажности воздуха $\Delta e'$ на поверхности Земли и на уровнях 0,5 и 2 м (первая строка) при разных направлениях ветра и число случаев (вторая строка)

Станция	Направление ветра	$\Delta t'$ град. на уровнях, м						$\Delta e'$ мб на уровнях, м											
		0			0,5			2,0			0,5			2,0					
		расстояние, м						расстояние, м						расстояние, м					
		10	50	100	10	50	100	10	50	100	10	50	100	10	50	100			
Хибины	ЗЮЗ—ЮЮВ	-2,1 6 4	1,2 6 4	-0,3 6 4	0,2 6 4	0,1 6 4	0,6 6 4	0,1 6 4	0,5 6 4	1,6 6 4	0,0 6 4	0,1 6 4	0,3 6 4	0,3 6 4	0,1 6 4	0,8 6 4			
	ССЗ—СЗ	1,1 4	-1,9 4	0,6 4	0,2 4	-0,2 4	0,4 4	0,3 4	0,4 4	0,2 4	0,0 4	0,1 4	0,4 4	0,4 4	0,2 4	0,0 4			
	З—ЮЗ	1,9 8	-0,9 8	-0,5 8	0,2 8	0,2 8	0,2 8	0,2 8	0,0 8	0,0 8	0,0 8	0,1 8	0,6 8	-0,5 8	-0,4 8	-0,5 8			
	СВ—СВ	0,7 5	-1,5 5	-0,9 5	0,2 5	0,0 5	0,2 5	0,2 5	0,0 5	0,0 5	0,0 5	0,1 5	-0,1 5	-0,8 5	1,0 5	-1,0 5			
	Ю—ВСВ	1,3 7	-0,1 7	1,0 7	-0,2 7	0,0 7	0,0 7	0,3 7	0,2 7	0,2 7	0,2 7	0,0 7	0,0 7	0,0 7	0,2 7	0,0 7			
Тийрикоя	ВЮВ—ЮЮВ	-3,3 7	-4,2 6	-3,0 6	-0,1 7	-0,4 6	-0,3 6	0,1 7	0,1 6	0,1 6	0,1 6	-0,2 6	-0,6 6	0,0 7	-0,1 6	-0,3 6			
	В—СВ	-4,5 4	-1,0 4	-3,2 4	0,0 3	0,0 3	0,5 3	0,2 4	0,2 4	0,5 4	0,0 4	-0,1 3	-0,4 3	0,2 4	0,0 4	-0,2 4			
	З—С	-0,6 4	-1,5 4	0,8 4	0,2 4	-0,1 4	0,0 4	0,1 4	0,0 4	0,0 4	0,0 4	-0,1 4	-0,2 4	0,2 4	0,2 4	0,1 4			
	ЗЮЗ—ЮЗ	-0,5 1	0,5 1	0,0 1	0,10 1	-0,4 1	-0,1 1	0,0 1	0,0 1	-0,4 1	0,0 1	0,0 1	0,0 1	0,2 1	0,3 1	2,1 1			
	З—ССЗ	-2,8 6	0,0 1		0,2 6	0,1 1		0,0 6	0,1 1		-0,5 1	0,1 1	0,4 1	0,4 1	0,6 1				
Петрозаводск	ЮЮЗ—ЗЮЗ	-2,8 6	-0,7 1		0,0 6	-0,5 1		-0,4 6	-0,1 1		1,5 1	0,4 1	0,4 1	0,4 1	0,5 1				
	С—ВЮВ	-0,2 3	4,4 1	7,0 1	0,0 3	0,1 1	-0,2 1	0,1 3	0,1 1	-0,3 1	1,6 1	1,2 1	0,4 3	0,4 1	0,7 1	1,1 1			
	С—З	-2,4 9	-0,2 9	0,3 9	0,4 9	0,2 9	0,1 9	0,3 9	0,1 9	0,0 9	-0,3 9	-0,3 9	-0,8 9	-0,3 9	0,1 9	-0,2 9			

Станция	Направление ветра	$\Delta t'$ град. на уровнях, м						$\Delta e'$ мб на уровнях, м					
		расстояние, м						расстояние, м					
		0						0,5					
		10	50	100	10	50	100	10	50	100	10	50	100
Собакино	ЮЗ—ЗЮЗ	-2,8 4	-2,6 4	0,4 4	0,0 4	-0,3 4	0,1 4	-0,4 4	0,0 4	-0,6 4	-0,5 4	0,0 4	-0,3 4
Советск	С—ВСВ	-1,3 4	-0,6 4	0,0 4	-0,1 4	-0,4 4	-0,1 4	0,1 4	0,2 4	0,2 4	0,3 4	0,0 4	-0,3 4
	ССЗ—ЗСЗ	1,1 3	1,6 3	1,7 2	-0,1 3	-0,1 3	-0,4 2	0,0 3	-0,4 2	0,0 2	0,1 3	0,5 3	0,4 2
	Ю—ЮЗ	4,0 2	1,6 2	4,2 2	0,0 2	0,0 2	0,2 2	-0,1 2	-0,2 2	-0,4 2	-0,3 2	-0,3 2	-0,2 2
Смоленск	ВЮВ—ЮЮЗ	0,9 7	2,2 7	4,6 2	0,0 7	-0,1 7	-0,4 2	0,1 7	0,0 7	-0,9 2	0,2 7	0,2 7	-0,2 2
	З—ССЗ	1,3 5	1,3 5		0,0 5	0,1 5		0,0 5	0,2 5		0,1 5	0,1 5	
Павелец	С	0,2 2	0,1 2	-1,0 2	0,1 2	0,2 2	0,2 2	0,2 2	0,0 2	0,1 2	0,0 2	0,2 2	0,2 2
	З	-0,1 2	-0,2 2	-0,2 2	-0,1 2	0,0 2	0,0 2	0,0 2	0,0 2	0,0 2	-0,2 2	0,0 2	0,0 2
Пинск	ВЮВ—СВ	0,2 8	-0,8 8	-0,4 5	-0,2 8	-0,1 5	-0,4 5	0,0 8	0,4 8	-1,6 5	0,1 8	-0,2 8	0,4 5
	ЗЮЗ—С	1,6 8	-1,2 6	-1,2 6	-0,3 8	-0,2 6	-0,4 6	0,0 8	-0,6 6	-0,7 6	-0,2 8	-0,2 6	0,3 6
	ЮЮЗ—ЮЗ	1,0 2	-0,1 2	0,8 2	0,5 2	0,4 2	0,2 2	0,0 2	1,0 2	1,6 2	-0,2 2	-0,6 2	-0,4 2
Нолинск	С—ЗСЗ	-2,1 6	-2,7 6	-4,2 2	0,2 6	0,0 6	0,8 2	0,2 6	0,4 6	1,2 2	-0,4 6	-0,5 6	-0,6 2
	ЗЮЗ—ЮЗ	-0,6 3	-0,7 3		0,0 3	0,1 3	0,1 3	0,1 3	0,8 3		0,0 3	-0,1 3	
	В	3,7 2	4,8 2	2,8 2	0,3 2	0,1 2	0,5 2	-0,2 2	-0,2 2	0,0 2	-0,2 2	-0,3 2	0,2 2

Станция	Направление ветра	$\Delta t'$ град. на уровнях, м										$\Delta z'$ мб на уровнях, м				
		0					0,5					2,0				
		расстояние, м														
		10	50	100	10	50	100	10	50	100	10	50	100	10	50	100
Кушнареново	ЮВ—ССЗ	-0,2 13	-0,4 2		0,0 13	-0,1 2		0,0 10	0,0 13		0,0 13	0,0 10		0,1 13	0,5 2	
	ЮВ—СВ	-0,2 3	-0,2 2		-0,1 3	-0,1 2		0,1 3	0,3 3		0,0 3	0,0 2		0,0 3	-0,6 2	
	Ю—З	1,0 10	0,3 10	0,0 10	0,2 10	-0,2 10	0,0 10	0,3 10	0,4 10	0,4 10	1,5 10	1,0 10	1,0 10	1,2 10	1,6 10	
	З—ССЗ	1,5 4	0,9 4	1,6 4	-0,4 4	-0,6 4	-0,1 4	0,2 4	0,0 4	0,0 4	1,2 4	0,9 4	0,9 4	0,7 4	1,0 4	
Каменная Степь	С—СВ	-0,5 5	1,8 5	1,4 5	-0,5 5	0,0 5	-1,0 5	0,0 5	1,0 5	-0,1 5	0,6 5	0,8 5	0,8 5	0,1 5	0,3 5	
	ССЗ—ЗЮЗ	-0,3 8	0,2 8	0,1 8	0,0 8	-0,1 8	-0,2 8	0,2 8	0,0 8	0,2 8	-0,3 8	0,1 8	0,1 8	0,2 8	0,3 8	
	ССВ—СВ	3,7 4	2,6 4	3,5 4	0,0 4	-0,1 4	0,0 4	0,0 4	0,9 4	0,2 4	1,5 4	1,8 4	1,8 4	1,0 4	0,8 4	
	ЮВ—ЮЮВ	6,2 2	6,8 2	2,8 2	0,4 2	-0,2 2	-0,8 2	0,7 2	0,8 2	0,6 2	1,0 2	0,7 2	0,7 2	0,2 2	0,0 2	
Балхаш	ЮЗ—ЮВ	3,0 18	4,1 18		0,1 18	1,1 18		0,2 18	-0,4 18		-0,8 18		-0,3 18	-0,7 18		
	С—СВ	-3,9 2	-1,0 2	1,1 1	-0,5 2	0,3 2	0,8 1	0,0 2	-3,7 2	0,8 1	-2,7 2	-4,2 1	-0,6 2	-0,4 2	0,0 1	
	З—С	0,9 4	-0,4 4	-0,6 4	0,0 7	0,4 7	0,2 7	0,1 7	0,1 7	0,3 7	0,3 7	0,0 7	0,3 7	0,2 7	0,1 7	
	ССВ—СВ	-1,0 5	3,0 4	3,8 4	-0,1 5	0,3 5	0,3 6	0,0 5	0,1 6	0,0 5	0,1 5	0,3 6	-0,1 6	0,0 5	0,1 6	
Айдарлы	ВЮВ—ЮЮВ	-1,0 5	0,7 5	0,7 4	-0,1 6	0,4 6	0,9 5	0,1 6	0,1 6	0,4 5	-0,2 6	-0,3 5	-0,1 6	-0,1 6	-0,1 5	
	ВЮВ—Ю	1,0 4	-0,4 5	0,0 5	-0,7 4	0,0 5	0,3 5	0,1 4	0,2 4	0,4 5	0,5 5	0,1 5	-0,4 4	0,0 5	0,2 5	
	Хакасская															

Станция	Направление ветра	$\Delta t'$ град. на уровнях, м						$\Delta e'$ мб на уровнях, м					
		расстояние, м						расстояние, м					
		10	50	100	10	50	100	10	50	100	10	50	100
Солянка	СЗ	-7,4 1 1	-6,6 1 1	-5,9 1 1	0,8 1 1	0,0 1 1	-0,2 1 1	-0,3 1 1	-0,2 1 1	-0,2 1 1	0,3 1 1	0,5 1 1	0,1 1 1
	ЮВ	-7,1 1 1	-5,4 1 1	-5,8 1 1	0,3 1 1	0,0 1 1	0,1 1 1	-0,1 1 1	0,0 1 1	0,1 1 1	-0,3 1 1	-0,2 1 1	-0,2 1 1
	ЮЗ	-3,8 2	-0,1 2	-4,8 2	-0,1 2	0,1 2	-0,7 2	0,2 2	0,3 2	0,1 2	1,2 2	1,2 2	0,2 2
	СВ-СЗ	0,2 4	1,2 4	-0,4 4	0,0 4	-0,2 4	-0,3 4	0,1 4	0,3 4	-0,1 4	0,0 4	0,2 4	0,0 4
Тура	СЗ-СЗ	0,0 1	2,8 1	2,7 1	0,2 1	-0,2 1	-0,2 1	0,2 1	0,2 1	-0,5 1	0,4 1	0,2 1	-0,2 1
	С-З	1,0 6	2,0 6	0,2 2	0,0 6	0,0 6	0,2 2	0,2 6	0,1 6	1,5 6	-0,2 6	0,2 6	-0,3 2
	ВЮВ-ЮЮВ	0,8 3	0,5 3		0,0 3	-0,1 3		0,0 3	0,3 3	0,4 3	0,8 3	1,1 3	
	ЗЮЗ	0,2 1	0,2 1		0,3 1	-0,1 1		0,4 1	0,3 1	-0,2 1	-0,4 1	-0,4 1	
Хомутово	В-ССВ	-2,4 3	-3,8 3	1,3 3	-0,2 3	-0,7 3	-0,4 3	0,2 3	0,5 3	-0,7 3	0,4 3	0,4 3	0,9 3
	ВЮВ-ЮЮВ	-5,3 2	8,3 1	-5,2 1	0,2 2	-0,1 2	-0,2 2	0,4 2	0,0 2	0,1 2	-0,1 2	0,3 2	0,1 2
	ЗЮЗ-ССЗ	4,7 3	7,7 3	3,8 3	0,2 3	0,0 3	-0,1 3	0,8 3	0,6 3	-0,9 3	-0,1 3	0,5 3	0,1 3
	ЮЗ-СЗ	5,0 4	0,1 3	1,2 2	0,2 4	-0,4 3	-1,1 2	0,0 4	-0,2 3	-0,1 3	-0,2 4	-0,3 3	-0,2 2
Чита	В-Ю	1,7 2	0,6 2		-0,5 2	0,4 2		-0,5 2	0,0 2	0,0 2	-0,3 2	-0,6 2	

Станция	Направление ветра	$\Delta f'$ град. на уровнях, м						$\Delta e'$ мб на уровнях, м					
		0			0,5			0,5			2,0		
		$\Delta f'$ град. на уровнях, м						$\Delta e'$ мб на уровнях, м					
		расстояние, м						расстояние, м					
		10	50	100	10	50	100	10	50	100	10	50	100
Сковородино	С—ССЗ	-0,8 2	0,4 2	0,6 2	0,0 2	-0,2 2	0,0 2	-0,2 2	-0,3 2	-0,8 2	-0,2 2	-1,0 2	-0,6 2
	Ю	0,4 1	0,7 1	1,1 1	0,1 1	-0,1 1	0,3 1	0,1 1	0,0 1	0,1 1	0,1 1	0,3 1	0,7 1
	З—СЗ	2,0 14	2,7 15	3,3 13	0,3 14	0,3 14	0,6 13	0,3 14	0,1 14	0,2 13	0,2 14	0,5 14	0,6 13
Фрунзе	ССВ	-0,5 1	-0,2 1	-4,4 1	0,5 1	0,4 1	0,5 1	0,5 1	0,5 1	1,6 1	0,6 1	0,4 1	0,3 1
	ЮЗ—ВЮВ	-4,0 5	-4,1 5	-0,3 1	0,9 5	0,2 5	0,5 1	-0,1 5	-0,1 5	-0,1 1	-0,2 5	-0,1 5	0,1 1
Душанбе	ССВ—ССЗ	-6,2 5	-2,8 5	-0,1 5	-0,1 5	-0,2 5	0,0 5	-0,5 5	-0,5 5	-0,6 5	-0,6 5	-1,5 5	
	С—В	1,3 6			0,2 6			0,1 6			0,5 6		
Телави	СЗ—СВ	-1,7 9	-0,7 9	-0,7 9	-0,1 9	-0,2 9	-0,2 9	0,1 9	0,2 9	0,3 9	0,5 9	0,9 9	0,5 9
	В—ЮЮЗ	-2,9 9	-1,5 7	-1,1 3	0,3 9	0,2 7	0,1 3	0,2 9	0,0 7	0,2 3	0,1 9	0,3 7	-0,5 3
	ЮЗ—З	-0,1 5	1,1 4	-1,2 4	-0,2 5	0,2 4	0,0 4	0,3 5	0,1 4	0,2 4	-1,1 5	-0,3 4	0,0 4
Борисполь	В—Ю	-3,8 3	-3,9 3	-3,2 3	0,2 3	0,2 3	-0,1 3	0,2 3	0,4 3	1,3 3	0,4 3	0,5 3	0,2 3
	З—С	-4,4 3	-5,2 3	-4,3 3	-0,4 2	-0,4 3	-0,3 3	0,3 3	0,0 3	0,6 3	0,4 3	0,5 3	0,4 3

Таблица 4

Повторяемость (%) горизонтальных градиентов температуры почвы и температуры и влажности воздуха

Высота измерения, м	Расстояние, м	$\Delta t'$ град.					$\Delta e'$ мб				
		Число случаев	$\pm 0,2$	$\pm 0,3-0,5$	$\pm 0,6-1,0$	$> \pm 1,0$	Число случаев	$\pm 0,2$	$\pm 0,3-0,5$	$\pm 0,5-1,0$	$> \pm 1,0$
0	10	308	15	10	15	60					
	50	271	13	10	15	62					
	100	202	12	12	16	60					
0,5	10	312	59	26	12	3	312	43	27	17	13
	50	275	50	26	16	8	276	37	32	13	18
	100	204	41	30	23	6	207	36	29	18	17
2,0	10	314	60	29	9	2	313	46	29	16	9
	50	277	51	32	11	6	279	42	26	18	14
	100	207	52	30	14	4	209	41	26	17	16

температуры и влажности воздуха, возникшей в результате неоднородности подстилающей поверхности.

Рассмотрим на конкретных примерах, в каких случаях велика изменчивость вертикальных и горизонтальных градиентов температуры и влажности воздуха. Например, ст. Хибины расположена на ровном месте среди посевов, однако к западу и юго-западу от площадки начинается склон к озеру; при дополнительных наблюдениях по маршрутам западо-юго-западных — юго-юго-западных направлений последняя выносная точка, удаленная от основной на 100 м, находилась на берегу озера. В связи с этим средняя разность вертикальных градиентов температуры между основной и выносной точками увеличилась до $1,1^\circ$, а при других направлениях ветра этого не отмечалось (табл. 1). Средние разности вертикальных градиентов влажности с удалением от основной точки также больше при направлениях ветра с южной составляющей (табл. 3). Горизонтальные градиенты температуры на ст. Хибины не уменьшаются с высотой, а наоборот, растут, особенно при расстоянии 100 м, когда на высоте 2,0 м $\Delta t'$ достигает $1,6^\circ$, а горизонтальный градиент влажности в этой же точке на высоте 2,0 м резко возрастает до 0,8 мб.

По данным ст. Пинск на северо-западных маршрутах разность вертикальных градиентов температуры в основной точке и в выносной, удаленной на 100 м, достигает $0,6^\circ$, а разность вертикальных градиентов влажности — 1,1 мб. Оказывается, что в этом направлении имеет место наибольшая закрытость горизонта, превышающая 8° (горизонт закрыт рядом строений). На увеличение разности вертикальных градиентов температуры и влажности воздуха на ст. Хакасская по юго-восточному маршруту в точках, расположенных на расстоянии 10 и 50 м, оказывает влияние оросительный канал шириной 2—3 м, по берегам которого растут деревья высотой 14—18 м. Этот канал проходит с запада на восток в 30 м южнее метеоплощадки.

На северо-северо-западных — северо-северо-восточных маршрутах на ст. Душанбе на расстоянии 40—60 м расположены постройки и деревья высотой 10—12 м, а за деревьями густая сеть оросительных каналов.

Поэтому разность вертикальных градиентов температуры и влажности на расстоянии 50 м составляет $0,7^\circ$ и $1,0$ мб; а горизонтальные градиенты влажности на высоте 2,0 м в точке, удаленной на 50 м от основной, достигли $1,5$ мб.

Выводы

1. Различия вертикальных градиентов температуры в $0,2^\circ$ на расстоянии до 100 м вокруг метеоплощадок наблюдаются в 50% случаев наблюдений на 27 метеостанциях, а в 80% случаев они не превышают $0,5^\circ$; различия вертикальных градиентов влажности в $0,2$ мб наблюдаются лишь в 35% случаев, а в 85% случаев они меньше 1 мб.

2. Величина горизонтальных градиентов температуры, возникающих за счет неоднородности подстилающей поверхности вокруг метеорологических площадок у поверхности почвы в большинстве случаев превышает $1,0^\circ$; на высоте 0,5 м она меняется в пределах от 0 до $0,5^\circ$, а на высоте 2,0 м приближается к величине, равной точности измерения градиентов температуры, т. е. к $0,2^\circ$. Горизонтальные градиенты влажности по абсолютной величине больше горизонтальных градиентов температуры.

3. Изменчивость вертикальных и горизонтальных градиентов температуры и влажности воздуха особенно велика в тех случаях, когда вблизи метеоплощадок находятся значительные препятствия или резко различные по своим свойствам поверхности (водоем, деревья и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Огнева Т. А. О погрешностях определения затрат тепла на испарение и турбулентного потока тепла по данным наблюдений на сети станций. Труды ГГО, вып. 174, 1965.
2. Струзер Л. Р. Случайные ошибки величин испарения, рассчитанных по методу турбулентной диффузии. Труды ГГИ, вып. 48, 1955.
3. Ляпина Р. С., Прокофьева Л. И. О горизонтальной изменчивости градиентов температуры и влажности воздуха. Труды ГГО, вып. 160, 1964.
4. Руководство по градиентным наблюдениям и определению составляющих теплового баланса. Гидрометеиздат, Л., 1964.
5. Ляпина Р. С. О влиянии горизонтальных градиентов на точность определения составляющих теплового баланса. Труды ГГО, вып. 194, 1966.

К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ

Поверхность почвы ввиду своей неоднородности дает довольно пеструю картину распределения температуры даже на небольшой площади. Поэтому один и тот же приход или расход тепла приводит к различным изменениям температуры почвы в зависимости от ее индивидуальных свойств — структуры, теплоемкости, теплопроводности, влажности и т. д. Значение измеряемой нами температуры зависит не только от свойств самой почвы, но и от целого ряда случайных факторов — наличия отдельных комков или мелких камней вблизи резервуара термометра, плотности прилегания резервуара к поверхностному слою почвы, а также от тщательности, с которой производится укладка термометра на почву и наблюдения по нему. В то же время возникает необходимость возможно более точного измерения температуры поверхности почвы, которая вызывается большой ролью этой температуры в процессах теплообмена почвы с воздухом.

Существующий в настоящее время метод измерения температуры поверхности почвы, заключающийся в отсчетах показаний жидкостных термометров, которые размещаются на поверхности почвы, освобожденной от растительного покрова так, чтобы их резервуары были наполовину погружены в почву, обладает целым рядом недостатков. Различие теплофизических свойств почвы и термометра приводит к тому, что термометр нагревается и его показания в значительной степени зависят от его собственной температуры. Кроме того, встречающиеся на станциях нарушения условий установки напочвенных термометров (вытапывание и несвоевременное рыхление площадки), отступления от рекомендованной методики производства измерений приводят к тому, что наблюдения над температурой поверхности почвы на разных станциях в ряде случаев становятся недостаточно сравнимыми.

Можно предположить, что положение несколько улучшилось бы в случае применения дистанционных приборов для измерения температуры поверхности почвы, например термометров сопротивления, таких же, как и применяемые в настоящее время для измерения температуры почвы на глубинах. Сравнительные наблюдения по стандартным жидкостным термометрам и термометрам сопротивления проводились на метеорологической площадке антарктической станции Оазис в период работы 2-ой континентальной антарктической экспедиции. Почва на ст. Оазис — мелкозем и нагромождения валунов — позволила расчистить площадку, на поверхности которой можно было установить сравнимые термометры в одинаковых условиях. Предварительно на площадке

было установлено пять жидкостных термометров различных типов, по которым проводились наблюдения в 1, 7, 10, 13, 16 и 19 час. по местному среднему солнечному времени в течение одной декады февраля. Таким образом была получена серия отсчетов, позволившая выбрать наиболее надежный по своим показаниям термометр для последующих сравнительных наблюдений с термометрами сопротивления.

В установке находились следующие жидкостные термометры: два срочных термометра, психрометрический, максимальный и минимальный.

Наибольшим было расхождение в показаниях термометров в 16 час., в отдельных случаях оно достигало $6,9^{\circ}$. Это не намного превосходит расхождения между показаниями различных напочвенных термометров

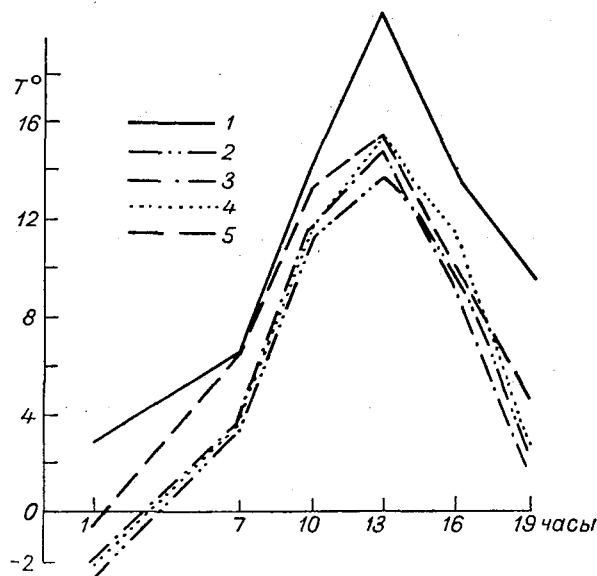


Рис. 1. Суточный ход температуры поверхности почвы по показаниям жидкостных термометров 1—5.
1 и 2 — по показаниям срочных термометров, 3 — психрометрического, 4 — максимального, 5 — минимального.

при аналогичных измерениях, приводимые некоторыми авторами. Суточный ход температуры поверхности почвы по осредненным данным за весь период по жидкостным термометрам представлен на рис. 1. Показания всех термометров сравнительно близки между собой, за исключением срочного термометра № 1, который был сразу же отбракован.

Установить термометры сопротивления непосредственно на метеоплощадке не представилось возможным из-за недостаточной длины кабеля. Для их установки была выбрана и расчищена дополнительная площадка, расположенная в 50 м от основной. Учитывая однородность подстилающей поверхности на ст. Оазис, незначительную разницу высот обеих площадок и их одинаковую экспозицию, можно говорить о полной идентичности условий, в которых были установлены сравниваемые термометры. На дополнительной площадке термометры сопротивления были погружены наполовину в почву; один из них был открыт, а второй систематически присыпался землей или снегом в зависимости от времени года.

Суточный ход температуры поверхности почвы, полученный по показаниям различных термометров, представлен на графиках (рис. 2, 3).

На рис. 2 показан суточный ход по средним месячным данным. Показания термометров сопротивления в разные сезоны года, несмотря на различия в их установке, хорошо согласуются. У ртутного термометра четко выражена тенденция к завышению показаний в летние месяцы

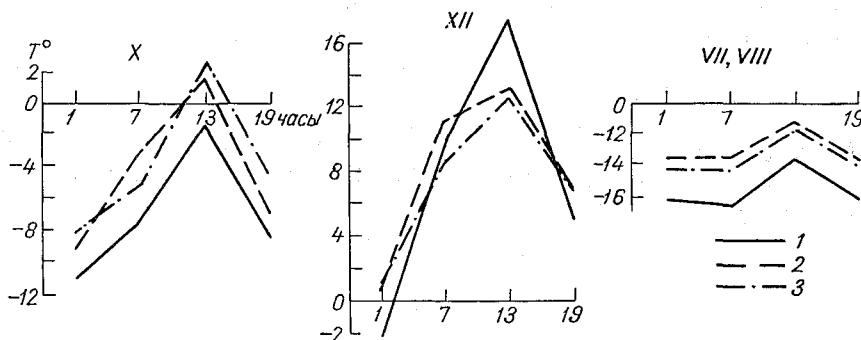


Рис. 2. Суточный ход температуры поверхности почвы по средним месячным данным, полученным по показаниям термометров 1—3.

1 — ртутного термометра, 2 — термометра сопротивления открытого, 3 — то же, присыпанного землей.

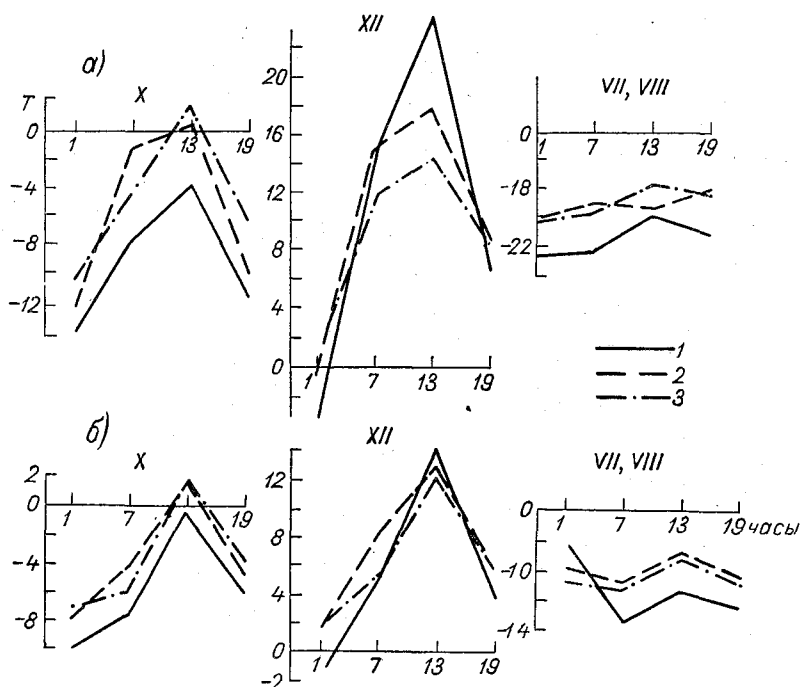


Рис. 3. Суточный ход температуры поверхности почвы для ясной (а) и пасмурной (б) погоды.

Усл. обозначения см. рис. 2.

и к занижению — в зимние. (Следует иметь в виду, что наблюдения проводятся в южном полушарии, поэтому летние и зимние месяцы обратны месяцам северного полушария.)

На рис. 3 а и б представлен суточный ход температуры поверхности почвы, определенный по разным термометрам отдельно для ясной и пасмурной погоды. Согласованность показаний термометров сопротив-

ления достаточна при любых условиях погоды. Что касается ртутного термометра, то в пасмурную погоду его показания близки к показаниям термометров сопротивления, а в ясные дни за счет интенсивной солнечной радиации ртутный термометр нагревается в значительной степени и показания его в 13 час. значительно выше показаний термометров сопротивления.

Кроме вычисления средних значений температуры поверхности почвы по срокам, для сопоставления показаний ртутных термометров и термометров сопротивления были получены разности между средними температурами, определенными по каждому из термометров для различных условий погоды и сезонов (табл. 1). В таблице помещены разности между показаниями ртутного термометра № 1 и термометров сопротивления № 2 и 3, а также разности между показаниями самих термометров сопротивления по средним месячным данным и для разных условий погоды.

Таблица 1

Разности между показаниями ртутного термометра (№ 1)
и термометров сопротивления (№ 2 и 3) в различные сроки наблюдения
(01, 07, 13, 19 час.)

Месяц	№ 1 — № 2				№ 1 — № 3				№ 2 — № 3			
	01	07	13	19	01	07	13	19	01	07	13	19

Средние месячные значения

X	-2,0	-4,2	-2,7	-1,4	-3,0	-2,9	-3,7	-3,5	-1,1	2,0	-1,0	-2,1
XII	-2,9	-1,4	4,1	-2,1	-3,4	-1,3	4,9	-1,8	-0,5	2,7	0,7	0,2
VII, VIII	-2,5	-2,9	-2,5	-2,6	-1,9	-2,3	-2,0	-2,1	0,6	0,7	0,5	0,5

Для пасмурной погоды

X	-2,0	-3,3	-2,2	-1,3	-2,8	-1,7	-2,3	-2,3	-0,8	1,5	-0,1	-1,0
XII	-2,8	-3,1	1,6	-2,2	-3,0	-0,3	2,0	-1,9	-0,2	2,8	0,4	0,3
VII, VIII	1,9	-2,7	-2,4	-2,2	2,8	-2,0	-2,0	-1,6	0,9	0,6	0,4	0,6

Для ясной погоды

X	-1,8	-6,3	-4,2	-1,4	-3,6	-3,3	-7,6	-5,1	-1,8	3,0	-3,4	-3,6
XII	-3,0	0,1	6,5	-1,8	-3,8	3,3	9,9	-1,7	-0,8	3,2	3,4	0,2
VII, VIII	-2,6	-3,4	-2,3	-3,0	-2,3	-2,7	-2,0	-2,7	0,2	0,7	0,6	0,3

Как видно из табл. 1, различные условия погоды в разные сезоны оказывают некоторое влияние на соотношения между показаниями ртутного термометра и термометров сопротивления. Так, в зимние месяцы (июль—август) при пасмурной погоде в ночные часы показания ртутного термометра выше, чем показания термометров сопротивления, что может быть объяснено меньшей теплоотдачей стеклянной оболочки ртутного термометра по сравнению с металлической оболочкой термометра сопротивления. В ясные ночи эта теплоотдача увеличивается в значительной степени.

В летние месяцы (декабрь) показания ртутного термометра, как мы уже говорили, выше в 13 час., а при ясной погоде даже в 7 час., что также можно объяснить различием теплоемкости и отражательной способности стекла и металла. В переходные месяцы (например, октябрь)

во все сроки и при всех условиях погоды показания ртутных термометров ниже показаний термометров сопротивления.

Если сравнивать между собой показания термометров сопротивления № 2 и 3, то в зимний период во все без исключения сроки и при любой погоде показания термометра № 2 были выше показаний термометра № 3, присыпанного тонким слоем почвы или снега. Летом это соотношение сохранялось во все сроки, за исключением ночного, однако сами разности становились более весомыми. Что касается переходного периода, то здесь для большинства сроков (кроме 7 час.) имеет место обратное соотношение. Такой характер разностей может быть в какой-то мере объяснен подтоком холода из почвы, а также солнечной радиацией, которая нагревает открытый термометр в большей степени, чем термометр, присыпанный землей или снегом.

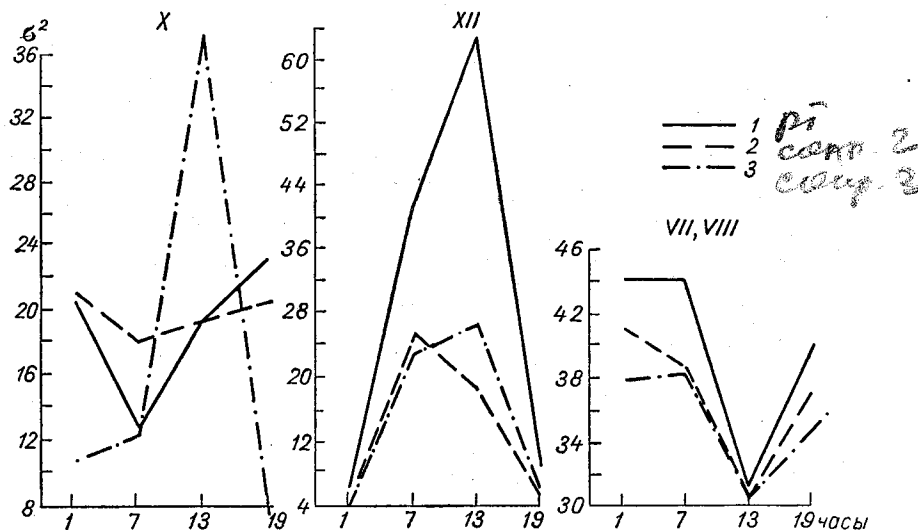


Рис. 4. Суточный ход среднеквадратичных отклонений по средним месячным данным.

Усл. обозначения см. рис. 2.

Если рассматривать средние месячные значения разностей без учета условий погоды, то в переходные месяцы и летом эти разности для открытого термометра подобны рассчитанным для условий пасмурной погоды, а в зимние месяцы — для условий ясной погоды.

Для сравнительной оценки устойчивости показаний исследуемых термометров были рассчитаны дисперсии значений температуры, полученных по разным термометрам в разные месяцы и для различных условий погоды. На рис. 4 представлен суточный ход дисперсий, рассчитанный по месячным данным без учета условий погоды. Как видно из приведенных графиков, наименее устойчивы показания в срок 13 час. термометра, присыпанного землей, в переходный период и ртутного термометра в летние месяцы.

На рис. 5 показан суточный ход дисперсий температуры по показаниям сравниваемых термометров для различных условий погоды. В пасмурные дни в летние и зимние месяцы наименьшей устойчивостью показаний обладает ртутный термометр, а для переходных периодов — термометр сопротивления, присыпанный землей. Для ясной погоды в зимние месяцы наименьшая устойчивость показаний отмечается также

у ртутного термометра, а в переходный период и летом — у термометра сопротивления, присыпанного землей. Последнее обстоятельство не позволяет согласиться с предположением некоторых авторов о большой

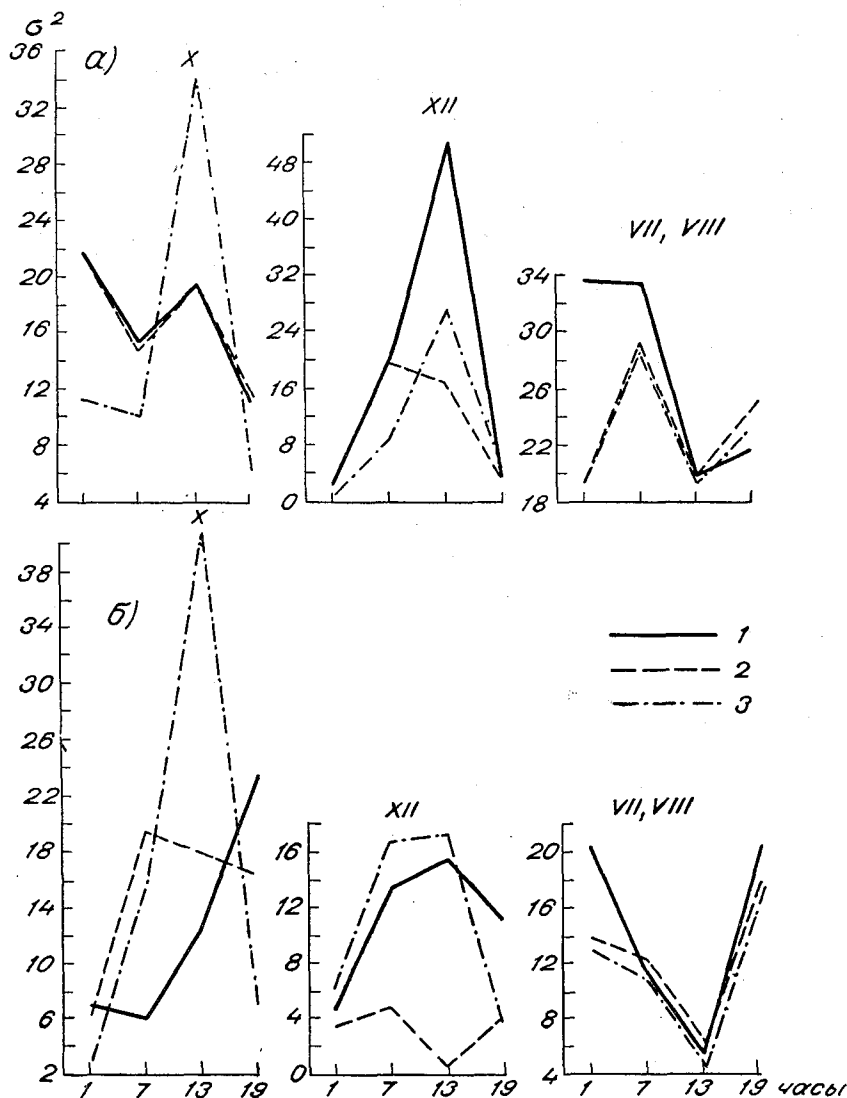


Рис. 5. Суточный ход среднеквадратичных отклонений для пасмурной (а) и ясной (б) погоды.
Уел. обозначения см. рис. 2.

надежности измерений температуры почвы термометрами, помещенными не на поверхности, а в слое 0—1 см.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что показания термометров сопротивления, установленных на поверхности почвы, более устойчивы, чем показания ртутных термометров.

Измерение температуры поверхности почвы термометром сопротивления, помещенным открыто, дает наиболее достоверные данные по

сравнению с ртутным термометром или термометром сопротивления, установленным в слое 0—1 см.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гранкевич Н. Н. К методике наблюдений над температурой почвы для сельскохозяйственных целей. Труды по с.-х. метеорологии, вып. XXV, 1938.
2. Дьячкова Т. В. Опыт работы с установкой М-54. Труды ГГО, № 112, 1963.
3. Димо В. Н. Тепловой режим почвы. Сб.: «Агрофизические методы исследования почв». «Наука», 1967.
4. Шульгин А. И. Климат почвы и его регулирование. Гидрометеиздат, Л., 1967.
5. Смирнов С. А. Опыт использования тепломера для измерения тепловых потоков по ст. Оазис. Труды ГГО, № 112, 1963.
6. Воробьев И. Е. О погрешностях напочвенного термометра. Труды ГГО, вып. 61, 1956.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ С СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ

Как известно, используя метод теплового баланса, можно определять величины испарения за короткие периоды времени и практически с любых поверхностей. Поэтому этот метод получил широкое распространение при исследовании водного баланса отдельных участков за конкретные периоды времени. Однако при постановке экспериментальных наблюдений для определения теплового баланса на поверхностях, покрытых растительным покровом (например, на сельскохозяйственных полях), возникают дополнительные трудности, недостаточно освещенные в известных методических пособиях [10, 13].

В 1966 г. опубликованы рекомендации по определению составляющих теплового баланса на сельскохозяйственных полях [8] для комплексных воднобалансовых исследований. Они могут использоваться и при организации теплобалансовых наблюдений на поверхностях с растительным покровом, отличающимся от покрова, свойственного площадкам метеорологических станций (подкашиваемая трава). В данной статье рассмотрены некоторые вопросы методики теплового баланса, позволяющие обосновать возможность использования рекомендаций, изложенных в [8] для определения составляющих теплового баланса на сельскохозяйственных полях.

1. При измерении градиентов температуры и влажности воздуха необходимо зафиксировать уровень, от которого следует отсчитывать высоту подвески приборов. Для участков, покрытых невысокой травой (20—30 см), за этот уровень принимается поверхность почвы. Она является деятельной поверхностью, т. е. в ней происходит поглощение лучистой энергии солнца, ее преобразование в тепловую и формирование собственного излучения. Но по мере роста растительного покрова поверхность почвы теряет эти свойства, их начинает приобретать сам растительный покров, причем с увеличением высоты растительности перемещается и уровень деятельной поверхности.

Общепринятой характеристикой смещения высоты деятельной поверхности является уровень, расположенный от поверхности почвы на расстоянии $\frac{2}{3}$ средней высоты растительного покрова, эта характеристика включена и в [8]. Рассмотрим, в какой мере это применимо для различных сельскохозяйственных культур.

Экспериментальных данных по этому вопросу очень немного, особенно мало их для сельскохозяйственных полей. По данным А. В. Павлова

и Г. П. Устенко [9], для кукурузы высотой до 3 м уровень деятельной поверхности поднимался на высоту, равную 0,4 средней высоты растительности. В работе А. Р. Константинова и др. [4] на основании подробных измерений профилей метеорологических элементов на кукурузном поле (при высоте кукурузы от 180 до 250 см) получено, что уровень деятельной поверхности приподнимается от поверхности почвы на высоту, равную 0,7 среднего размера растений. Такое же соотношение по данным распределения температуры и влажности воздуха было получено и на хлопковом поле в Средней Азии [1, 2], однако по распределению скорости ветра на хлопковом поле высота деятельной поверхности оказалась равной средней высоте хлопчатника. Такая же высота деятельной поверхности получается и при использовании данных по распределению скорости ветра на картофельном поле (при высоте растений от 30 до 50 см). Она определена в работе Р. С. Ляпиной [6].

Для пшеничного поля, как показывают исследования Н. А. Ефимовой [3], не отмечается резких изломов в распределении метеорологических элементов внутри растительного покрова и, следовательно, смещения уровня деятельной поверхности относительно поверхности почвы. Это объясняется более или менее равномерным уменьшением площади листьев с высотой. Такая же закономерность отмечена и в работе Ф. Л. Вэтерхауса [18] при проведении наблюдений в растительном покрове высотой до 60 см. Однако Н. П. Русин [15] на пшеничном поле, используя для определения уровня вытеснения данные по распределению скорости ветра, получил соотношение между уровнем деятельной поверхности и средней высотой растений, равное 0,69. Для рисового поля по оценкам Иноу [17], это соотношение оказалось равным 0,77.

Как видно из приведенных данных, уровень деятельной поверхности оказывается неодинаковым, во-первых, для разных видов растительности, а во-вторых, для разных метеорологических элементов — значение его для ветра не совпадает со значением для температуры и влажности воздуха.

Для того чтобы установить закономерности смещения высоты деятельной поверхности для растительности различных видов, необходимо проведение более детальных исследований. Однако имеющиеся данные уже сейчас позволяют сделать следующие методические рекомендации.

Для определения градиентов температуры и влажности воздуха в целях использования их в уравнении теплового баланса, когда строгая фиксация уровня деятельной поверхности не обязательна, достаточно располагать приборы над поверхностью почвы на уровне, составляющем $\frac{2}{3}$ средней высоты растений. Однако в случае, когда высота растительности превышает 1 м, уровень подвески приборов необходимо отсчитывать от средней высоты растений. Это вызвано тем, что при сохранении критерия $\frac{2}{3}$ приборы могут оказаться очень близко к растениям, и вероятность влияния отдельных пульсаций увеличится. Например, если высота растений равна 1,5 м, то $\frac{2}{3}$ их высоты составляет 1 м и, следовательно, психрометр при высоте подвески 0,5 м окажется на уровне средней высоты растений.

Для определения градиентов температуры и влажности воздуха при расчетах потоков методом турбулентной диффузии для выбора уровня подвески психрометров справедливы те же рекомендации, что и при расчетах методом теплового баланса.

Высота размещения анемометров будет зависеть от характера растительности: для растительности, имеющей равномерное изменение листовой поверхности с высотой (рожь, пшеница, рис), уровень подвески приборов отсчитывается от высоты $\frac{2}{3}$ среднего размера растений, для ра-

стительности с неравномерным распределением листовой поверхности (хлопчатник, картофель) — от средней высоты растений.

2. Заслуживает внимания вопрос о погрешностях измерения радиационного баланса по незатененному от прямой радиации балансомеру, как это рекомендовано в [8]. Как известно, балансомеры затеняются от прямой радиации для того, чтобы уменьшить погрешности определения радиационного баланса за счет исключения большей доли его величины (прямой радиации), измеряемой другим прибором с большей точностью, а кроме того за счет уменьшения влияния турбулентности на затененной поверхности, имеющей температуру более низкую, чем незатененная. Эти погрешности, как указано в работе З. А. Логиновой и Ю. Д. Янишевского [5], составляют 5—10%. Они учтены в методике актинометрических наблюдений [12], используемой на сети станций.

Совершенно очевидно, что рекомендация производить наблюдения по незатененному балансомеру вызвана техническими трудностями организации затенения балансомера в условиях сельскохозяйственных полей. Дело в том, что установка стандартных актинометрических металлических стоек типа М-13 с автоматическим затенением приборов на сельскохозяйственных полях не применима, так как, с одной стороны, не позволяет изменять уровень установки приборов по мере роста растительности, а с другой, мешает проведению агротехнических мероприятий. Затенение прибора вручную приводит к вытапыванию растительного покрова, что создает дополнительные ошибки.

В основном по балансомерам измеряется баланс без прямой радиации, поэтому имеется очень небольшое количество экспериментальных данных сравнения величин радиационного баланса, полученных по затененному и незатененному балансомерам. Представляется целесообразным привести некоторые материалы по этому вопросу. В табл. 1 приведены отношения величин радиационного баланса, полученных по затененному и незатененному балансомерам, для 10 станций, расположенных в разных районах. Эта таблица составлена по материалам параллельных наблюдений, выполняемых на актинометрических станциях для определения переводных множителей балансомеров по срочным наблюдениям. Следовательно, использованные данные относятся к условиям ясной погоды, к периоду времени от 10 до 16 час. и характеризуют наиболее возможные различия величин, измеренных двумя способами. Как видно из табл. 1, интенсивности радиационного баланса, осредненные по числу наблюдений, для большинства станций различаются не более чем на 5—10%.

В 1966 г. М. П. Чижевская в Воейково поставила специальные параллельные наблюдения по затененному и незатененному балансомерам, которые позволяют оценить расхождения величин радиационного баланса, полученных по затененному и незатененному балансомерам, не только для отдельных измерений, но и для средних данных за декаду (табл. 2). Средние данные в табл. 2, полученные при ясной погоде, сравнимы с данными табл. 1. Как видно из табл. 2, различия наибольших значений радиационного баланса (при ясном небе), полученных по затененному и незатененному балансомерам, в отдельные сроки невелики, в преобладающем большинстве случаев они не превышают 5—10%. Различия средних декадных интенсивностей за отдельные сроки в условиях ст. Воейково, где повторяемость ясной погоды незначительна, также малы, а фактические дневные суммы радиационного баланса различаются всего на 1—2%. Следовательно, экспериментальные данные показывают, что использование незатененного от прямой радиации балансомера приводит к погрешности измерений радиационного баланса, не

Таблица 1

Отношение величин радиационного баланса, измеренных по затененному и незатененному балансомерам при ясном небе. 1965 г.

Станция	V	VI	VII	VIII	IX
Валдай	0,94 11	0,93 18	0,97 11	0,88 10	0,89 15
Каменная Степь	0,97 23	0,99 32	0,99 30	0,97 24	1,04 22
Аскания-Нова	0,89 14	0,81 10	0,71 12	0,80 13	0,82 16
Гигант	1,05 14	1,00 6	1,04 8	0,96 16	1,02 16
Ершов	0,92 9	0,92 5	1,07 7	0,96 9	0,98 13
Айдарлы	0,87 15	0,88 7	0,96 12	1,05 16	1,06 12
Ашхабад	1,00 16	1,01 16	1,02 16	1,12 15	1,04 17
Огурцово	1,00 8	0,91 8	1,00 6	0,95 2	0,97 2
Кызыл	1,03 15	1,00 17	1,03 10	1,02 3	1,00 10
Чита	0,96 13	0,96 11	1,06 8	1,03 10	1,00 8

Примечание. Здесь и в табл. 2 в 1-ой строке даны величины отношения; а во 2-ой — число случаев наблюдений.

превышающей 10%, в отдельные сроки наблюдений; для декадных сумм радиационного баланса погрешность меньше и в условиях переменной облачности, когда уменьшается вероятность воздействия прямой радиации, совсем незначительна.

3. Для поверхностей с высоким растительным покровом должна изменяться и методика определения потока тепла в почве по сравнению с методикой, рекомендуемой в [13], по которой рассчитывается поток тепла между деятельной поверхностью (поверхностью почвы) и нижележащими слоями. При перемещении деятельной поверхности в растительном покрове происходит теплообмен между этой новой поверхностью и ниже расположенным слоем растительности. Однако, как показывают опытные данные, при достаточной практической точности определения всех других составляющих теплового баланса величиной теплообмена в растительном покрове можно пренебречь. Например, А. В. Павлов и Г. П. Устенко [9] для определения величины теплообмена в растительном покрове кукурузы использовали данные специально поставленных измерений температуры растительного покрова (листьев и стеблей) с помощью полупроводникового микроэлектротермометра АФИ с учетом веса растений. В результате оказалось, что при высоте кукурузы 2,5—3 м величина теплообмена в растительном покрове

Таблица 2

Суточный ход отношения средних величин радиационного баланса,
измеренных по затененному и незатененному балансомерам
в 7, 10, 13, 16 часов, Воейково, 1966 г.

Месяц	Декада	Из всех наблюдений				При ясном небе			
		7	10	13	16	7	10	13	16
VII	I	1,06	1,00	0,97	1,00	1,05 5	0,93 2	0,94 2	1,00 4
	II	1,00	1,06	1,00	1,00	1,05 3	1,06 4	1,00 1	1,00 5
	III	0,93	1,00	1,00	0,96	1,00 5	1,00 5	0,97 6	0,94 8
VIII	I	1,00	0,86	1,02	1,11	1,08 6	0,93 7	1,04 5	1,17 5
	II	0,91	1,07	1,05	1,10	1,17 4	0,98 6	1,07 5	1,13 4
	III	1,10	0,97	0,95	0,96	1,33 7	1,05 7	0,94 8	0,94 5
IX	I	1,00	0,95	0,97	0,92	—	0,94 1	1,00 3	0,73 1
	II	—	1,16	1,07	1,28	—	1,22 4	1,04 2	1,30 5
	III	1,00	1,06	1,00	1,23	0,80 3	1,04 4	1,00 2	1,12 1

за отдельные сроки не превышала $0,01 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$, а за сутки была равной нулю. Ю. Р. Раунер и С. Ф. Федоров [16] определяли теплообмен в межкроновом воздухе внутри леса по данным измерений температуры воздуха и теплоемкости биомассы; полученные величины теплообмена оказались не превышающими величины потока тепла через поверхность почвы.

В работе Р. С. Ляпиной и Т. А. Огневой [7] оценка потока тепла в растительном покрове картофеля проведена следующим косвенным путем: был рассчитан поток тепла через поверхность почвы под картофельной ботвой высотой 50 см и через поверхность почвы под невысоким (15—20 см) травяным покровом. Обе поверхности находились на расстоянии 100 м друг от друга и по условиям увлажнения почвы и цвету растительности отличались мало. Поэтому можно предположить, что различия в величинах потоков связаны с поглощением некоторого количества тепла деятельной поверхностью растений картофеля. Эти различия при ясной погоде в часы наибольших значений радиационного баланса оказались равными около $0,05 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$, а в часы наибольшей теплоотдачи — около $0,03 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$. В результате суточные суммы потоков тепла отличались незначительно.

Учитывая небольшую величину теплообмена в растительной массе (2—3% величины затрат тепла на испарения), а также то, что экспериментальное определение теплообмена на поверхностях с растительным покровом является сложным, при постановке наблюдений на сети станций можно пренебрегать величиной теплообмена в растительном покрове.

4. Представляет большой практический интерес рассмотреть погрешности определения испарения методом теплового баланса (независимо от поверхности, для которой оно определяется), возникающие при расчете составляющих не по мгновенным исходным данным измерений,

а по осредненным в отдельные сроки данным за декаду или месяц, как это рекомендуется в [13]. В табл. 3 сопоставлены расчеты декадных и

Таблица 3

Средние декадные и месячные суммы (ккал см²) затрат тепла на испарение, полученные по ежедневным (V') и по средним за декаду (месяц) исходным данным (V). Июль 1965 г.

$$\Delta = \frac{V' - V}{V'} \cdot 100\%$$

Станция	I декада			II декада			III декада			Месяц		
	V	V'	Δ	V	V'	Δ	V	V'	Δ	V	V'	Δ
Аскания-Новая	1,21	1,35	10	1,27	1,42	11	0,47	0,36	31	2,73	3,13	13
Гигант	1,71	2,23	23	0,56	1,40	60	1,44	1,86	23	4,03	5,49	26
Кызыл	2,74	2,52	-9	2,85	2,78	-3	3,36	3,21	-5	8,71	8,51	-2
Огурцово	2,81	2,91	3	2,69	2,24	-21	2,82	3,08	8	8,62	8,23	-5
Душанбе	2,38	2,28	-4	2,76	2,76	0	2,56	2,51	-2	7,78	7,55	-3
Фергана	2,13	1,98	-8	1,76	2,08	15	1,44	1,91	25	4,84	5,97	19
Фрунзе	1,66	1,61	-3	1,08	1,23	12	1,01	1,20	16	3,78	4,04	8
Собакино	1,17	1,30	10	1,70	2,00	15	1,79	1,86	4	4,43	5,14	14
Рига	1,30	1,65	21	2,12	2,19	3	1,36	1,61	16	4,96	5,45	9
Пинск	2,46	2,38	-3	2,04	2,48	19	2,31	2,16	-7	6,94	7,02	1
Сковородино	1,68	2,08	19	2,10	2,20	4	2,11	2,01	-5	6,01	6,29	4
Коткино	1,96	1,81	-8	1,76	1,82	3	0,87	0,99	12	4,50	4,63	3

месячных сумм затрат тепла на испарение, проведенные методом теплового баланса за июль 1965 г. для 12 пунктов по данным ежедневных наблюдений (и расчетам ежедневных сумм) и по средним декадным данным в отдельные сроки. Сравнение затрат тепла на испарение, рассчитанных двумя способами, показывает, что расхождения между ними Δ в основном укладываются в пределах 10—15% как для месячных, так и для декадных сумм.

Из табл. 3 видно, что величины затрат тепла на испарение, рассчитанные по ежедневным данным, несколько больше величин, рассчитанных по осредненным данным (величин Δ со знаком плюс больше, чем со знаком минус); однако об этом можно говорить лишь как о тенденции, так как в 30% случаев отмечается обратное соотношение — величины затрат тепла на испарение, рассчитанные по осредненным исходным данным, больше, чем рассчитанные по ежедневным данным. Отсутствие систематических расхождений величин испарения, рассчитанных двумя способами, говорит о возможности применения методики расчета испарения по осредненным за отдельные сроки исходным данным для разных географических районов (станции Аскания-Новая, Гигант, Кызыл, Огурцово, Фрунзе, Фергана, Душанбе расположены в зоне степей и предгорных степей, остальные станции — в лесной зоне: от смешанных лесов — Собакино, до таежных — Коткино).

Однако использование средних данных не по срокам, а в целом за сутки приводит к очень большим различиям при расчетах теплового баланса. В табл. 4 приведены эти различия в виде повторяемости отношения месячных сумм испарения, рассчитанных методом теплового баланса по средним суточным исходным данным и по средним за отдельные сроки. Средние суточные исходные данные получены осреднением наблюдений за 6 сроков (с учетом неравнозначных промежутков между сроками в дневное и ночное время). Расчеты выполнены по наблюдениям сети теплосбалансовых станций за май—сентябрь 1965 г. В табл. 4

Таблица 4

Повторяемость (%) отношения месячных сумм испарения, рассчитанных методом теплового баланса по средним месячным исходным данным за отдельные сроки (V) и в среднем за сутки (V_1)

Зона	Количество месяцев	V_1/V				
		<1,0	1,0—1,2	1,21—1,40	1,41—1,6	>1,6
Пустыни	25	8	12	20	24	36
Степи	57	9	31	35	18	7
Предгорные степи, альпийские луга	19	5	10	37	16	32
Пойменные луга	10	30	20	30	10	10
Лиственные и смешанные леса	62	6	46	18	16	14
Хвойные леса	31	16	62	19	3	0

повторяемости отношений даны не для отдельных станций, а суммарно по группе станций, расположенных в отдельных географических зонах. Как видно из табл. 4, если не учитывается суточный ход элементов, определяющих тепловой баланс, возникают систематические погрешности в определении испарения. Именно при использовании средних суточных исходных данных величины испарения получают преимущественно выше, чем по расчетам за отдельные сроки, причем расхождение превышает 20% более чем в половине рассмотренных случаев для всех географических зон, кроме лесной. Заметное уменьшение больших расхождений для лесной зоны говорит о том, что с увеличением увлажнения поверхности и понижением суточных амплитуд влияние нелинейности уменьшается. Поэтому нельзя рассчитывать испарение методом теплового баланса по средним суточным данным наблюдений за градиентами температуры и влажности воздуха и за другими элементами.

5. Большой интерес представляет вопрос о необходимом количестве сроков наблюдений в течение суток. В табл. 5 приведена повторяемость отношений месячных сумм испарения, рассчитанных по [13] по наблюдениям за четыре срока (1, 7, 13, 19 час.) и шесть сроков (1, 7, 10, 13, 16, 18 час.) в течение суток, а в табл. 6 — за пять сроков (7, 10, 13, 16,

Таблица 5

Повторяемость (%) отношения месячных сумм испарения, рассчитанных по средним месячным данным за 6 сроков (V) и за 4 срока (V'')

Зона	Количество месяцев	V''/V			
		<0,8	0,81—0,9	0,91—1,0	>1,0
Пустыни	25	36	36	12	16
Степи	58	19	46	26	9
Предгорные степи и альпийские луга	17	18	46	18	18
Пойменные луга	10	30	40	20	10
Лиственные и смешанные леса	62	8	44	32	16
Хвойные леса	32	15	38	41	6

19 час.) в дневное время и за шесть сроков (1, 7, 10, 13, 16, 19 час.). Как видим из табл. 5, сокращение сроков наблюдений в дневное время, т. е. приближенное описание суточного хода, приводит к занижению величин испарения на 10—20% по сравнению с более подробными наблюдениями; при этом также отмечается тенденция к уменьшению различий в испарении для лесной зоны, т. е. для поверхностей с достаточным увлажнением. Сокращение наблюдений за счет ночного срока, как видно из табл. 6, вызывает довольно заметное уменьшение испарения (на 30—40%, а иногда и более), так как при этом по существу определяется полусуточная величина испарения.

Таблица 6

Повторяемость (%) отношения месячных сумм испарения, рассчитанных из средних месячных исходных данных за 6 сроков (V) и за 5 сроков (V''')

Зона	Количество месяцев	V/V'''				
		<1,3	1,31—1,5	1,51—1,7	1,71—1,9	>1,9
Пустыни	25	12	36	28	12	12
Степи	57	7	60	19	7	7
Предгорные степи и альпийские луга	19	0	21	68	0	11
Пойменные луга	10	0	40	60	0	0
Лиственные и смешанные леса	63	5	63	19	3	10
Хвойные леса	32	6	72	19	3	0

Приведенные материалы показывают, что, если невозможно организовать систематические наблюдения за тепловым балансом в ночное время, необходимо хотя бы приближенно учитывать возможное испарение ночью. Один из вариантов такого учета — проведение эпизодических наблюдений и экстраполяция их на периоды, когда наблюдения отсутствуют.

6. Необходимо также коснуться вопроса о расчете сумм составляющих теплового баланса и суточных сумм испарения. В [13] для расчета этих сумм рекомендуется так называемый метод трапеций.

В основу этого метода положено допущение о линейном изменении средних интенсивностей потоков от срока к сроку. Тогда сумму между сроками можно получить, рассчитав площадь трапеции, основаниями которой будут интенсивности за соседние сроки, а высотой — интервал времени между сроками. Однако, если такое допущение справедливо для дневного и ночного времени, то при смене знака потока линейность изменений интенсивности потока не сохраняется, и могут возникать погрешности в суммах тепла. Это заметно, если имеется большой интервал между сроками наблюдений. Летом смена знака составляющих теплового баланса в утреннее время наблюдается до 7 час., а в вечернее — после 19 час., т. е. когда интервал между сроками наблюдений составляет 6 час.

При расчете суточных сумм радиационного баланса время перехода потока радиации через нуль учитывается по эмпирическому соотношению со временем восхода и захода солнца; для всех других составляющих теплового баланса такое соотношение получить довольно трудно из-за более сложной связи смены знака каждой из составляющих с радиационным балансом, состоянием увлажнения поверхности и метеорологическими характеристиками — скоростью ветра, температурой и

влажностью воздуха. Поэтому в [13] рекомендуется приближенная методика расчета суточных сумм с линейной интерполяцией интенсивностей всех составляющих теплового баланса между сроками наблюдений, включая и радиационный баланс.

В табл. 7 для отдельных месяцев по группам станций приведены разности месячных сумм радиационного баланса, рассчитанные с учетом времени смены знака в суточном ходе, как это принято при актинометрических наблюдениях в соответствии с [14], и без учета его, как рекомендуется в [13]. Из табл. 7 видно, что суммы радиационного баланса, рассчитанные без учета времени смены знака, систематически выше для всех месяцев года, причем различия составляют 5—10% от характерных значений месячных сумм. Отмечается некоторое уменьшение различий осенью. За счет неточной методики расчета сумм радиационного баланса можно допустить погрешности в определении испарения в летние месяцы до 10—15 мм. Для того чтобы избежать этих погрешностей, целесообразно вводить некоторые поправки в суммы затрат тепла на испарение и турбулентный поток тепла.

Таблица 7

Разности месячных сумм радиационного баланса (ккал),
рассчитанных с учетом и без учета времени смены знака

Зона	V	VI	VII	VIII	IX
Пустыни	—0,4	—0,5	—0,6	—0,3	—0,3
Степи	—0,6	—0,6	—0,6	—0,5	—0,1
Предгорные степи и альпийские луга	—0,8	—0,7	—0,6	—0,6	—0,6
Лиственные и смешанные леса . .	—0,4	—0,7	—0,6	—0,4	—0,2
Хвойные леса	—0,9	—0,5	—0,5	—0,4	—0,1

При вычислении этих поправок используются разности сумм радиационного баланса ΔB за декаду или месяц с учетом и без учета времени перехода через нуль. Тогда из соотношений пропорционального распределения ΔB между суммами затрат тепла на испарение V и турбулентным потоком тепла L получим:

$$\begin{aligned} B_d &= P + L_d + V_d; \\ B_d &= B + \Delta B; \\ L_d &= L + \Delta L; \\ V_d &= V + \Delta V, \end{aligned}$$

обозначив индексом d (действительные) составляющие теплового баланса, в которых учтены ΔB , а без индекса — суммы, в которых ΔB не учитывается. Эта рекомендация по учету суточных сумм составляющих теплового баланса включена в [8].

Если

$$\Delta L = \frac{L}{B_d - P} \Delta B,$$

тогда

$$V_d = B_d - P - L - \frac{L}{B_d - P} \Delta B.$$

Приведенные в статье данные показывают, что рекомендованная в [13] методика определения испарения применима для использования на сельскохозяйственных полях с учетом изменения уровня подвески

психрометров и анемометров в зависимости от роста растительности и учета поправок при расчете сумм затрат тепла на испарение по суммам радиационного баланса, рассчитанным в соответствии с [14].

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенштат Б. А. и др. Изменение теплового баланса деятельной поверхности при орошении. Труды ГГО, вып. 39, 1953.
2. Айзенштат Б. А. и др. Влияние орошения на распределение метеорологических элементов в приземном слое. Труды ГГО, вып. 39, 1953.
3. Ефимова Н. А. Некоторые особенности метеорологического режима внутри растительного покрова озимой пшеницы и кукурузы. Труды ГГО, вып. 179, 1965.
4. Константинов А. Р. и др. Характеристика турбулентного тепло-влагообмена орошаемой кукурузы. Труды Укр. НИГМИ, вып. 57, 1966.
5. Логинова З. А. и Янишевский Ю. Д. Испытание балансомеров и пиргеометров. Труды ГГО, вып. 46, 1955.
6. Ляпина Р. С. Профиль ветра и параметр шероховатости на картофельном поле. Труды ГГО, вып. 214, 1967.
7. Ляпина Р. С., Огнева Т. А. К методике определения теплового баланса на картофельном поле. Труды ГГО, вып. 214, 1967.
8. Огнева Т. А. Наблюдения над составляющими теплового баланса сельскохозяйственных полей. Материалы семинара по расчетам водного баланса речных бассейнов и организации комплексных воднобалансовых и агрометеорологических наблюдений 2—6 августа 1966. Изд. ВНИГЛ, ГГИ, Валдай, 1966.
9. Павлов А. В. и Устенко Г. П. Тепловой баланс и радиационный режим кукурузы в посевах. Изв. АН СССР, серия геогр. № 6, 1965.
10. Проект технических указаний по расчету испарения с поверхности суши. Материалы междуведомственного совещания по проблеме изучения и обоснования методов расчета испарения с водной поверхности и суши. Изд. ГГИ, Валдай, 1966.
11. Раунер Ю. Л. Некоторые результаты теплобалансовых наблюдений в лиственном лесу. Изв. АН СССР, серия геогр., № 5, 1958.
12. Руководство гидрометстанциям по актинометрическим наблюдениям. Гидрометеоздат, Л., 1957.
13. Руководство по градиентным наблюдениям и определению составляющих теплового баланса. Гидрометеоздат, Л., 1964.
14. Руководство по контролю актинометрических наблюдений. Гидрометеоздат, Л., 1962.
15. Русин Н. П. Определения испарения на сельскохозяйственных полях. Труды ГГО, вып. 52, 1955.
16. Федоров С. Ф. Тепловой баланс леса и поля. Труды ГГИ, вып. 109, 1964.
17. Inoue. On the turbulent structure of airflow within crop canopies. J. Met. Soc. Japan. Sec. 11, vol. 41, No. 6, 1963.
18. Waterhouse F. L. Microclimatological profiles in grass cover in relation to biological problems. Q. J. Roy. Met. Soc., vol. 81, No. 347, 1955.

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ НА ОРОШАЕМОМ ПОЛЕ ВАХШСКОЙ ДОЛИНЫ ТАДЖИКИСТАНА

При постановке экспериментальных исследований на орошаемых полях важно выбрать наиболее рациональный метод определения суммарного испарения. Из наиболее разработанных методов, которые могут быть применены для определения суммарного испарения в условиях орошения, можно назвать метод теплового баланса, в котором затраты тепла на испарение определяются как остаточный член уравнения, отражающего закон сохранения энергии и условие соответствия механизмов переноса тепла и влаги в приземном слое воздуха [10]. Другим широко распространенным методом определения испарения является метод водного баланса (лизиметрический), который нашел применение в условиях неглубокого залегания грунтовых вод и на орошаемых полях с культурами, имеющими сильно развитую корневую систему. Величина испарения по лизиметру определяется по количеству доливаемой воды, а грунтовые воды поддерживаются на определенном, заранее заданном уровне [8].

Известно, однако, что балансовые методы, несмотря на их объективность, весьма трудоемки для оперативного использования, поэтому необходим достаточно простой и, главное, оперативный метод определения испарения, который хотя бы для отдельного конкретного района давал значения испарения, близкие к значениям испарения, полученным по балансовым методам (без накопления систематической ошибки).

В наших исследованиях метод теплового баланса и лизиметрический метод являлись эталонными. С ними сопоставлялись результаты расчета испарения на основе метода турбулентной диффузии по схеме А. Р. Константинова [5, 6]; этот метод отличается простотой и доступностью расчетов. Кроме того, расчеты испарения проводились по методике, предложенной американскими инженерами Блейни и Кридлом [15, 16]. Наряду с этими методами для определения испарения было использовано известное соотношение между радиационным балансом и скрытой теплотой испарения (R/L), которое в условиях оптимальной влагообеспеченности и для достаточно обширных орошаемых территорий является показателем возможного испарения (испаряемости) [2, 3]. Испаряемость определялась также по испарителю ГГИ-3000, который располагался в центре орошаемого массива. Испаритель был заполнен водой, имеющей одинаковый химический состав с водой, подаваемой на орошение.

Все наблюдения проводились на опытно-балансовом участке Курган-Тюбинской гидрогеологической партии Управления геологии Совета Министров Таджикской ССР. Опытно-балансовый участок площадью 152,7 га расположен на третьей террасе левого берега р. Вахш в пределах крупного чашевидного понижения мезорельефа на землях колхоза им. Ленина, в 10 км к юго-западу от г. Курган-Тюбе. Абсолютные высоты в этом районе около 400 м. Основная площадь участка занята староорошаемыми светло-сероземно-луговыми почвами, среди которых преобладают средне- и слабозасоленные разности. Орошение осуществляется водой магистрального арыка Джой-Бор, летние расходы которого

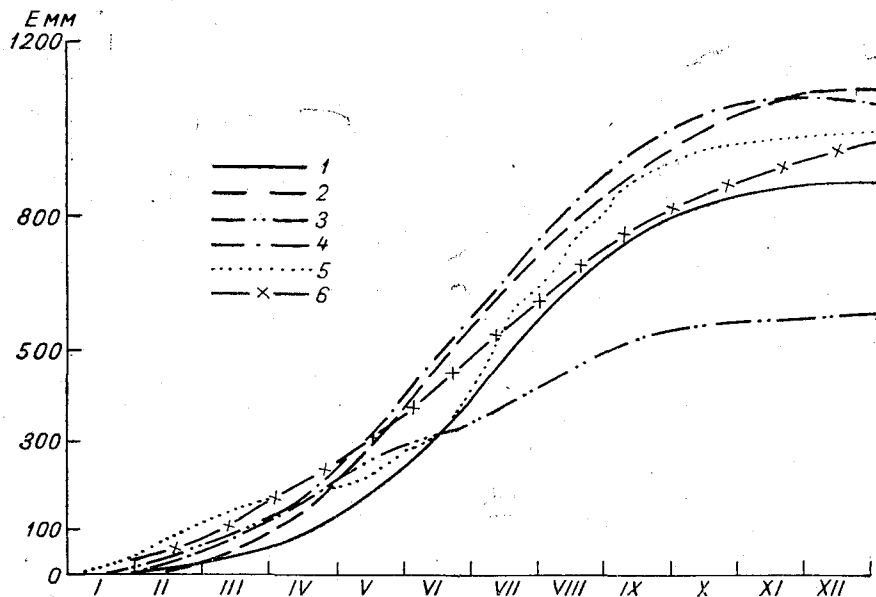


Рис. 1. Интегральные кривые суммарного испарения на хлопковом поле, определенные различными методами.

1 — по методу теплового баланса; 2 — по испарителю ГГИ-3000; 3 — по методу Константина; 4 — по радиационному балансу; 5 — по лизиметрам; 6 — по методу Блейни и Криддла.

составляют 18—20 м³/сек. Основная сельскохозяйственная культура в долине — хлопчатник тонковолокнистых сортов. В севооборот включена также люцерна и кукуруза. Около 10% территории занимают перелог и солончаки. За вегетационный период посева хлопчатника и люцерны получают в среднем 5—8 поливов с нормой 700—2000 м³/га. Режим уровня грунтовых вод формируется под влиянием водоподачи на орошение. Максимальные уровни воды [7] приходятся на июль—август (до 1 м и менее), минимальные — на январь—февраль (до 4,5 м).

Полученные результаты сравнения величин суммарного испарения с хлопкового поля приведены в табл. 1 и на рис. 1 и 2. Анализ этих данных показывает, что расчетный метод, предложенный А. Р. Константиновым, в условиях орошения дает результаты, заниженные на 30—40% в сравнении с другими методами. В предлагаемом виде этот метод определения испарения в условиях оптимального или достаточного орошения, по-видимому, может быть применим лишь для ориентировочных расчетов.

Расчетный метод Блейни и Криддла предполагает определение испарения по формуле, которая учитывает среднюю месячную температуру по Фаренгейту и процент дневных часов в течение данного месяца по

Месячные суммы испарения, полученные различными методами
Вахская долина, хлопчатник, 1963—1965 гг.

111

отношению к их сумме за год, принимаемой за 100%. Кроме того, в формулу вводится коэффициент водопотребления для различных видов растительности; он выведен на основе многолетних наблюдений по нескольким тысячам лизиметров. Величины испарения, полученные этим методом, в сумме за год близки к величинам, полученным по методу теплового баланса, однако в зимние месяцы они оказываются завышенными, а в период максимального развития растений — весьма заниженными (рис. 1). Отсутствие учета влагосодержания в почве и глубины стояния грунтовых вод на орошаемом поле в целом ряде случаев приводит к значительным отклонениям в рассчитанных величинах сумм испарения за период вегетации. Большая доля субъективизма в выборе

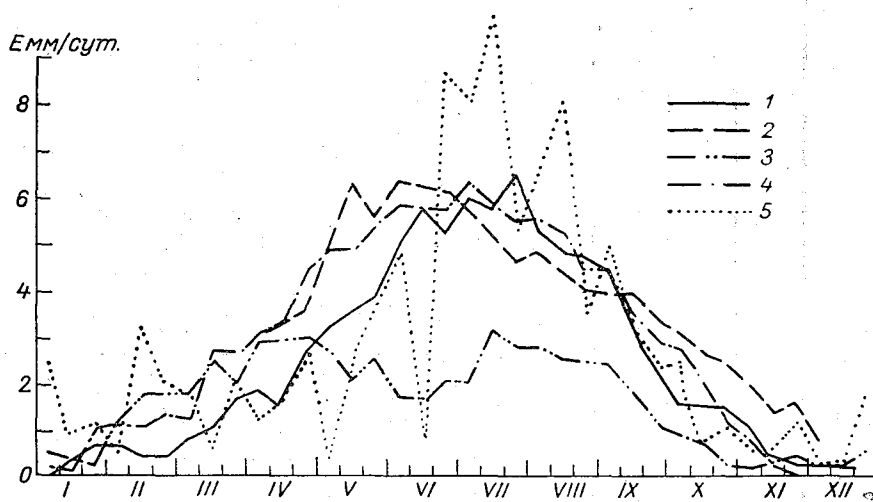


Рис. 2. Годовой ход суточных величин суммарного испарения на хлопковом поле, полученных различными методами (средние по декадам).

Усл. обозначения см. рис. 1.

коэффициента водопотребления также может внести существенные ошибки в расчеты. Сравнительно удовлетворительные результаты можно получить по этому методу для определенных фаз развития растений, вводя дополнительный коэффициент в расчетную формулу, так как расход влаги на орошаемом поле тесно связан с температурой и освещением только при достаточном (оптимальном) увлажнении почвы и хорошо развитой надземной массе растений. При несомкнутом растительном покрове и недостатке влаги в почве эта связь резко нарушается.

Сравнение величин суммарного испарения, рассчитанных по радиационному балансу, с величинами испарения, полученными методом теплового баланса, дает расхождение порядка 15%. Рассматривая годовой ход суточных величин суммарного испарения на хлопковом поле (рис. 2), можно сделать вывод, что в зимне-весенний период испарение, рассчитанное по радиационному балансу, получается завышенным в среднем на 1 мм/сутки. Это можно объяснить тем, что в распределении составляющих теплового баланса в это время года значительная часть радиационного тепла тратится на турбулентный теплообмен и теплообмен в почве. В период максимального развития растений величина испарения, рассчитанная по радиационному балансу, получается, напротив, заниженной по сравнению с величиной, полученной методом теплового баланса. В это время общие затраты тепла на испарение на орошаемом поле превышают суммы радиационного баланса, они пополняются за

счет адвекции тепла с более сухих территорий. Различия в величинах испарения, полученных обоими методами, составляют около 0,5 мм/сутки или 3,7% суммы испарения за месяц. Такое обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что определение испарения по радиационному балансу при условии достаточного орошения в Вахшской долине возможно в течение всего вегетационного периода. При этом ошибка в расчетах испарения не превышает 10% от величины испарения, полученной методом теплового баланса.

В условиях орошения и близкого стояния уровня грунтовых вод почва оказывается хорошо увлажненной в течение всего вегетационного периода. При этом испарение с орошаемого поля приближается к величине испаряемости [1, 3, 11, 14 и др.]. Сравнение результатов испарения, полученных методом теплового баланса, с величинами испаряемости, измеренными испарителем ГГИ-3000, подтверждает это положение. В целом за год испаряемость превышает суммарное испарение на орошаемом поле всего лишь на 20%. За период вегетации эта разность значительно уменьшается. Из работ М. И. Будыко [3, 4], А. М. Алпатьева [1], С. М. Харченко [14] и других исследователей известно, что полная согласованность результатов может быть лишь в том случае, когда орошаемое поле получает достаточно влаги для бесперебойного обеспечения потребности активнорастущих растений и сомкнутого травостоя. Более того, в период максимального развития растений (июль-август) суммарное испарение превышает испаряемость на величину около 15%, что также подтверждается нашими исследованиями на хлопковом поле. Во все другие периоды развития хлопчатника испарение, полученное методом теплового баланса, равно или меньше испаряемости, измеренной испарителем ГГИ-3000. Исходя из этого мы считаем, что использование данных, полученных с помощью почвенного испарителя для характеристики суммарного испарения, с известными допущениями возможно лишь при условии оптимального увлажнения на поле и с учетом фазы развития растений.

Параллельные наблюдения за испарением на участках с различными сельскохозяйственными культурами показали, что годовые суммы испарения, определенные методом теплового баланса и по лизиметрам, довольно близки между собой. Отклонения в годовом ходе могут быть объяснены некоторыми различиями в режиме орошения и агротехники на поле и в лизиметрах, а также недостатками рассматриваемых методов [8, 12].

Рассматривая интегральные кривые (рис. 1), можно видеть, что суммарное испарение, измеренное лизиметрами, превышает испарение, полученное по методу теплового баланса примерно на 10%, причем наблюдается почти полная согласованность в ходе испарения в вегетационный период. Таким образом, превышение имеет место в основном в невегетационный период, что объясняется, по нашему мнению, неточностью определения испарения лизиметрами в этом периоде. Как известно, методика определения испарения с помощью лизиметров основана на учете изменения столба жидкости в наблюдательной трубке. При этом по существу измеряется расход грунтовых вод в зону аэрации, откуда вода либо испаряется, либо задерживается в зоне аэрации и идет на повышение влагосодержания почвы. В зимне-весеннее время и в ночные часы летом, когда энергетические возможности для интенсивного испарения с поверхности почвы отсутствуют, большая часть грунтовых вод расходуется на повышение влагосодержания почвы в зоне аэрации, в этом случае знаки температурных градиентов и миграции влаги совпадают со знаком капиллярного движения влаги. Исходя из

этого величины испарения, получаемые по лизиметрам, заведомо завышены по сравнению с действительными. Учет влажности почвы в лизиметре позволил бы с достаточной точностью определить эту ошибку и в конечном результате уточнить расчеты. Методом математической статистики [13] нами была рассчитана связь между суммарным испарением, определенным по методу теплового баланса и по лизиметрам с площадью внутреннего сечения около 0,40 м², заполненным почво-грунтом ненарушенной структуры [9]. В расчетах использованы месячные суммы испарения за период вегетации на культуре хлопка, люцерны и переложной растительности.

Уровень грунтовых вод в лизиметрах с хлопчатником в 1964—1965 гг. соответствовал уровню грунтовых вод теплобалансовой площадки. С изменением высоты уровня грунтовых вод на площадке изменялся уровень грунтовых вод в лизиметре путем откачки или подлива. Кроме хлопчатника, большое значение в Вахшской долине имеет люцерна, которая используется не только как кормовая культура, но и играет профилактическую роль в борьбе против засоления почвы. Для определения испарения с поля люцерны взят лизиметр с уровнем 1,5 м, что соответствует примерно уровню грунтовых вод на теплобалансовой площадке люцернового поля. Теплобалансовые наблюдения на неорошаемом перелог, растительный покров которого представлен различного вида эфемерными сорняками и колючками, проводились на поле, где уровень грунтовых вод почти постоянно находился на глубине около 0,5—0,7 м. Грунтовые воды здесь являются основным источником влаги, идущей на испарение и транспирацию. Для перелога рассчитаны зависимости для трех глубин уровня грунтовых вод в лизиметрах: 0,5; 0,75; 1,0 м. Из табл. 2 следует, что суммарное испарение, полученное методом теплового баланса, имеет тесную связь с испарением по лизиметрам.

Коэффициент корреляции величин суммарного испарения, полученных по методу теплового баланса и по лизиметрам, на поле с хлопком равен 0,82, несколько меньше этот коэффициент на поле люцерны (0,75),

Таблица 2

Уравнения связи суммарного испарения, полученного методом теплового баланса и по лизиметрам. Вахшская долина

Культура	Годы наблюдений	Период наблюдений	Уровень грунтовых вод в лизиметрах	Уравнение регрессии ¹	Коэффициент корреляции	Ошибка	
						вероятная	средняя
Хлопчатник	1963—1965	IV—X	переменный	$y = 0,70 x + 37,3$	0,82	$\pm 0,048$	$\pm 10,1$
Люцерна	1963—1965	II—X	1,5 м	$y = 0,46 x + 39,5$	0,75	$\pm 0,060$	$\pm 33,4$
Переложная растительность	1964—1966	III—X	0,75 м	$y = 0,66 x + 19,7$	0,92	$\pm 0,021$	$\pm 37,0$
То же	1964—1966	I—X	0,5 м	$y = 0,47 x + 26,4$	0,91	$\pm 0,023$	$\pm 39,4$
"	1964—1966	III—X	1,0 м	$y = 0,64 x + 41,9$	0,72	$\pm 0,066$	$\pm 65,5$

¹ y — суммарное испарение по методу теплового баланса;
 x — суммарное испарение по лизиметрам.

что можно объяснить некоторым различием в подпитывании грунтовыми водами. Весьма тесная связь (коэффициент корреляции 0,92) получается на перелог с близким уровнем грунтовых вод в том случае, если уровень грунтовых вод в лизиметре равен 0,75 м. Эта связь резко нарушается, если данные испарения получены по лизиметрам с большей глубиной залегания грунтовых вод. Так, при расчете уравнения связи испарения на перелог с уровнем грунтовых вод 0,5—0,7 м, полученного методом теплового баланса, и по лизиметрам с уровнем грунтовых вод 1 м коэффициент корреляции уменьшается до 0,72.

Выводы

1. Экспериментальные исследования в Вахшской долине показали, что в хлопкосеющих районах при условии достаточного орошения и близкого стояния уровня грунтовых вод, основным методом для определения суммарного испарения должен служить метод теплового баланса, как физически наиболее обоснованный и обеспечивающий необходимую точность исследования.

2. Другим методом определения испарения в орошаемых районах является лизиметрический, который наряду с данными по суммарному испарению позволяет получить величины всех составляющих водного баланса. Эти методы имеют тесную связь и в экспериментальных работах могут быть взаимозаменяемыми.

3. В условиях оптимального орошения затрата тепла на испарение приближается к величине радиационного баланса. Поэтому для расчетов суммарного испарения в Вахшской долине и районах-аналогах можно использовать данные о радиационном балансе орошаемого поля, но необходимо учитывать, что достаточно надежные результаты этот метод дает только в фазу бутонизации — цветения и созревания хлопчатника. В период плодообразования величина испарения, полученная методом теплового баланса, превышает величину испарения, рассчитанную по радиационному балансу. В невегетационный период ошибки в определении испарения по радиационному балансу значительно возрастают.

4. При отсутствии сведений о радиационном балансе исследуемой площади, рассчитывая испарение в первом приближении, можно использовать данные испарителя ГГИ-3000.

5. Методы А. Р. Константинова и Блейни-Кридла могут быть использованы только для ориентировочных расчетов, поскольку в них не учитывается влагосодержание в почве, которое в орошаемых районах юга СССР является основным фактором испарения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алпатъев А. М. Влагооборот культурных растений. Гидрометеиздат, Л., 1954.
2. Будыко М. И., Тимофеев М. Г. О методах определения испарения. Метеорология и гидрология, № 9, 1952.
3. Будыко М. И., Юдин М. И., Яковлева Н. И. Испарение с орошаемых участков и испаряемость. Метеорология и гидрология, № 1, 1954.
4. Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности. Гидрометеиздат, Л., 1956.
5. Константинов А. Р. Испарение в природе. Гидрометеиздат, Л., 1963.
6. Константинов А. Р. и Астахова Н. И. Обоснование методики расчета испарения по температуре и влажности воздуха. Материалы межведомственного совещания по проблеме изучения и обоснования методов расчета испарения с водной поверхности и суши. Изд. ГГИ, Валдай, 1966.
7. Лапшова Л. П. Испарение и тепловой баланс хлопкового поля Вахшской долины Таджикистана. Труды ГГО, вып. 214, 1967.
8. Лебедев А. В. Сравнительная оценка достоверности наблюдений за элементами баланса грунтовых вод по лизиметрам. Материалы межведомственного совеща-

- ния по проблеме изучения и регулирования испарения с водной поверхности и почвы. Изд. ГГИ, Валдай, 1964.
9. Планин Ю. Г. Результаты изучения суммарного испарения методом лизиметров на староорошаемых землях Вахшской долины. Сб. «Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии Таджикистана», Душанбе, 1966.
 10. Руководство по градиентным наблюдениям и определению составляющих теплового баланса. Гидрометеоздат, Л., 1964.
 11. Сапожникова С. А. Некоторые особенности климата оазисов Средней Азии. Труды ГГО, вып. 30 (92), 1951.
 12. Струзер Л. Р. Оценка погрешности существующих методов определения испарения с почвы. Труды III Всесоюзного гидрологического съезда, т. III. Гидрометеоздат, Л., 1959.
 13. Уланова Е. С. Применение математической статистики в агрометеорологии для нахождения уравнений связи. Гидрометеоздат, Л., 1964.
 14. Харченко С. И. Тепло-воднобалансовый метод обоснования норм орошения. Труды ГГИ, вып. 125, 1965.
 15. Blaney H. F., Criddle W. D. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. U.S.D.A. Soil Cons. Serv. Techn. Paper 96, 1950.
 16. Criddle W. D. Methods of computing consumptive use of water. J. Irrig. and Drainage Div. (Proc. Am. Soc. Engrs). Paper 1507, 1958.

ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ НОВОЙ МОДЕЛИ ДОЖДЕМЕРА

Измерение атмосферных осадков (дождя, снега) на гидрометеорологических станциях производится с помощью осадкомера Третьякова.

Результаты многолетних наблюдений на сети станций с помощью этого прибора показали [1, 2, 3], что ошибка измерения осадков весьма существенна вследствие потерь собранной осадкомером воды на смачивание его стенок [4, 5], вследствие испарения воды за время от момента окончания дождя до момента измерения [6], а также вследствие воздействия ветра, препятствующего попаданию осадков в сосуд [7].

Исследования автора [4, 6] показали зависимость двух первых ошибок от материала и конструкции прибора, а также от ряда метеорологических факторов: скорости ветра, дефицита влажности, числа случаев выпадения осадков и длительности перерывов между ними. Была установлена количественная оценка этих зависимостей; приведены экспериментальные кривые и формулы, с помощью которых по входным параметрам (скорости ветра, дефициту влажности, числу выпадений осадков и др.) можно определить величину ошибок для известного периода (дня, месяца, года).

Выявление физического механизма возникновения ошибок дало возможность поиска путей их устранения или, во всяком случае, существенного уменьшения. Это было сделано в процессе экспериментов, сопровождавших указанные выше исследования.

Анализ имеющегося отечественного и зарубежного опыта построения осадкомерных приборов, а также результатов упомянутых исследований показал, что устранение ошибок при измерении жидких и твердых осадков может быть осуществлено с помощью приборов разных конструкций для летнего и зимнего сезона наблюдений.

В настоящей статье рассматривается новый прибор для измерения жидких осадков — дождемер.

Первой задачей при выборе элементов конструкции прибора было уменьшение потерь на смачивание. Эксперименты [4, 5] показали, что эти потери складываются не только за счет удерживания тонкой пленки воды на поверхности осадкомерного сосуда и в швах конструкции, но и за счет мелких капель, повисающих на его стенках в конце дождя и затем испаряющихся. Поправка на смачивание, какова бы не была ее величина, может быть учтена лишь по числу измерений, но практически невозможно учесть число высыханий осадкомера в перерывах между дождями. Эффект «повисания капель» особенно сильно

проявляется, если стенки сосуда загрязнены или сделаны из несмачивающегося материала. Именно этим объясняется [4] увеличение потерь на смачивание гидрофобизированных осадкомерных сосудов и сосудов из пластмассы. Все испытанные виды пластмасс оказались более или менее несмачиваемыми и удерживали на вертикальной поверхности даже довольно крупные капли. Такими же свойствами обладает и большая часть лакокрасочных покрытий. Выяснилось на первый взгляд парадоксальное правило: чтобы уменьшить потери на смачивание, нужно стенки осадкомерного сосуда делать из гладкого хорошо смачиваемого материала, тогда даже самые мелкие капли растекаются и, сливаясь, стекают вниз.

Испытания различных материалов показали, что наилучшими для изготовления осадкосборника оказались стекло и шлифованная латунь. Поскольку стекло не обладает достаточной прочностью в условиях длительной эксплуатации приборов на сети станций, окончательный выбор пал на латунь.

Потери на смачивание зависят также от формы сосуда, крутизны наклона его стенок и площади смачиваемой поверхности. Наиболее выгодным оказывается сосуд с гладкими, круто наклоненными стенками и наименьшей поверхностью.

Второй задачей было устранение потерь на испарение собранных осадков. Величина испарения из осадкомера зависит от дефицита влажности и скорости ветра на уровне прибора и пропорциональна площади отверстий, через которые сохраняющий осадки сосуд сообщается с атмосферой [6].

В осадкомере Третьякова и дождемере с защитой Нифера, применявшихся на гидрометеорологической сети, осадкосборник (верхняя часть ведра) отделяется от сосуда для хранения собранных осадков (нижняя часть ведра) диафрагмой с отверстиями, общая площадь которых колеблется от 200 до 600 мм². Через эти отверстия происходит утечка водяного пара из насыщенного пространства под диафрагмой, а при ветре наблюдается даже некоторая вентиляция поддиафрагменного пространства, еще более усиливающая испарение. Существует конструкция дождемеров (например, дождемер Сноудона), у которых осадкосборник (воронка) соединен с контейнером для хранения осадков короткой сливной трубкой. В таких дождемерах утечка пара меньше, но она резко увеличивается при ветре, когда под действием отдельных его порывов возникают пульсации давления воздуха около устья трубки.

Рассмотрим это явление применительно к любому осадкомеру, у которого приемная часть выполнена в виде сосуда с воронкой на дне.

Величина давления в устье отверстия на дне воронки описывается формулой:

$$p' = p_0 - k\rho\frac{v^2}{2}, \quad (1)$$

где p' — давление воздуха у края отверстия, p_0 — то же в окружающем пространстве, ρ — плотность воздуха, v — скорость потока на уровне верхнего края осадкомерного сосуда; k — коэффициент, зависящий от формы сосуда и ориентировки его относительно направления потока.

Коэффициент k для прямой узкой трубки, помещенной в потоке перпендикулярно его оси, близок к единице; для трубки, имеющей сверху расширение в виде воронки, коэффициент k тем меньше, чем шире и мельче расширение. Для отверстия на дне воронки при размерах ее, обычно применяемых в дождемерах, и глубине, равной диаметру, коэффициент k в 3—4 раза меньше единицы. Таким образом, дефицит давле-

ния $kr \frac{v^2}{2}$ имеет хотя и небольшую величину, но достаточную для того, чтобы при порывах ветра отсасывать из сосуда для хранения осадков порции насыщенного паром воздуха, взамен которого при ослаблении порыва засасываются порции сухого воздуха. Согласно (1) величина давления у устья отверстия, соединяющего воронку и сосуд для хранения осадков, равна p' . Если к отверстию присоединена сливная трубка, то на другом ее конце будет давление p'' большее, чем p' на величину потери напора h_l , зависящую от внутреннего гидравлического сопротивления трубки. Потеря напора описывается уравнением Дарси

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v_1^2}{2g}, \quad (2)$$

где h_l — потеря напора в трубке длиной l , λ — коэффициент гидравлического сопротивления (для газов $\lambda = \frac{64}{R'}$, где R' — число Рейнольдса), l — длина трубки, d — диаметр трубки, v_1 — скорость потока в трубке, g — ускорение силы тяжести.

Как видно из уравнения (2), изменяя длину и диаметр трубки l и d , можно регулировать потерю напора h_l , а следовательно, и подобрать такую ее величину, которая компенсировала бы пульсации дефицита давления $kr \frac{v^2}{2}$. Тогда, если $h_l \approx kr \frac{v^2}{2}$, то $p'' - h_l = p' = p_0 - kr \frac{v^2}{2}$ и $p' \approx p_0$. Следовательно, при порывах ветра отсасывание влажного воздуха из сосуда для хранения осадков происходить не будет.

Все сказанное справедливо для кратковременных порывов ветра. При длительных периодах усиления ветра (порядка 0,5 часа и более) утечка пара все же будет происходить, поскольку, как видно из уравнения (2), для очень малых скоростей потока v_1 гидравлическое сопротивление невелико. Однако при $\frac{l}{d} \geq 30$ возможные значения v_1 так малы, что ими можно пренебречь.

Изложенное позволяет сделать вывод, что для уменьшения утечки водяного пара из сосуда нужно либо уменьшить диаметр отверстий d , либо увеличить длину сливной трубки l . Уменьшение диаметра d лимитируется эксплуатационными соображениями: узкое отверстие может быть забито попадающими обычно в осадкомер пылью и мусором. Увеличение длины трубки l в общем не лимитируется, но при выполнении настоящей работы приходилось принимать во внимание конструктивные соображения, о которых будет сказано ниже.

Выполнение ряда проб и расчетов позволило выбрать оптимальный вариант сливной трубки длиной $l = 200$ мм при внутреннем диаметре $d = 5$ мм (отношение $\frac{l}{d} = 40$).

Кроме того, для уменьшения испарения использован следующий прием (насколько нам известно, применяемый впервые в конструкциях дождемеров): сливная трубка опущена почти до самого дна сосуда для хранения осадков, остается лишь малый зазор (около 1 мм) для слива поступающей воды. Первая же порция воды от выпавших осадков, сливаясь по трубке в сосуд, сразу же перекрывает нижний обрез трубки, что исключает возможность выхода насыщенного паром воздуха из замкнутого объема осадкосборного сосуда через трубку; после этого замкнутый объем насыщается водяным паром, и испарения воды с поверхности в сосуде не происходит. Открытой остается лишь очень малая поверхность воды внутри сливной трубки. После перекрывания нижнего

обреза трубки вертикальные перемещения воздуха в ней (а следовательно, и перенос пара) прекращаются, так как к гидравлическому сопротивлению трубки добавляется усилие, которое надо приложить для преодоления гидростатического давления столбика воды. Диффузией пара, образующегося над очень малой поверхностью воды в трубке, можно пренебречь вследствие ее незначительности.

Таким образом, при условии, что сосуд для хранения осадков сообщается с внешним пространством только через отверстие сливной трубки и узкую щель для выхода воздуха, утечка пара из него (а следовательно, и испарение осадков) практически исключается.

Полевые опыты показали, что осадкосборник и сосуд для хранения осадков лучше всего выполнять в виде отдельных деталей, соединенных сливной трубкой: осадкосборник — в виде латунной воронки, а сосуд для хранения осадков — в виде стеклянного баллона (бутыли). Бутыль оказалась наиболее подходящим сосудом потому, что по свойствам смачивания стекло и латунь равнозначны, но бутыль не имеет конструктивных швов, хорошо моется и легко может быть заменена в случае необходимости.

Для защиты от перегрева, влияние которого на величину испарения указано в статье [6], сосуд для хранения осадков лучше помещать внутрь другого, внешнего сосуда, который служит экраном и одновременно опорным корпусом прибора.

Третьей задачей при разработке дождемера было уменьшение потерь осадков от разбрызгивания. При ударе капель о стенку осадкоприемника (воронки) — поток брызг делится на внешний поток $S_{вн}$ (выше горизонтальной плоскости, проходящей через точку удара капли) и внутренний поток $S_{вп}$ (ниже этой линии); внешний поток частично выносится ветром из осадкомера. Величина отношения $S_{вн}/S_{вп}$ зависит от углов встречи траектории капли со стенкой сосуда α и β (рис. 1).

В меридиональной плоскости сечения воронки, где $\beta = 90^\circ$ при $\alpha = 90^\circ$ отношение $S_{вн}/S_{вп}$ близко к единице (но не равно единице, поскольку сила тяжести направлена в сторону внутреннего потока); при увеличении угла α величина отношения $S_{вн}/S_{вп}$ быстро убывает и при $\alpha \approx 120^\circ$ близка к нулю. Для всех других плоскостей сечения, не проходящих через диаметр воронки, угол $\beta > 90^\circ$, поэтому отношение $S_{вн}/S_{вп}$ даже при $\alpha = 90^\circ$ будет существенно меньше единицы, а при увеличении α стремительно убывает. Поэтому интегральная величина (по всей поверхности воронки) отношения $S_{вн}/S_{вп}$ приближается к нулю при углах α , лишь немногим больших 90° .

В докладе рабочей группы ВМО по измерениям осадков [8] на основании данных, представленных различными странами, в качестве оптимального рекомендуется угол $\alpha = 100 \div 110^\circ$.

На рис. 2 показаны меридиональное сечение осадкоприемной воронки с постоянным углом α и траектории падения капель под углами от 30° до 80° к вертикали пунктиром, даны сечения для углов $\alpha_1 = 90^\circ$, $\alpha_2 = 100^\circ$, $\alpha_3 = 110^\circ$. Как видно на рисунке, такое сечение представляет собой дугу логарифмической спирали; воронка осадкомера, которая имеет постоянный угол α в любой точке, должна быть телом вращения такой дуги вокруг вертикальной оси. Площадь поверхности воронки резко увеличивается при возрастании угла α . Между тем для уменьшения потерь на смачивание площадь внутренней поверхности воронки должна быть минимальной, а для снижения испарения воронка должна быть меньшей глубины. В связи с этим необходимо было искать пути уменьшения поверхности воронки, не ухудшая ее свойств в отношении разбрызгивания.

Было решено принять угол $\alpha = 100^\circ$, но отказаться от загиба стенок воронки в верхней ее части, как это показано на рис. 2. Такая форма поверхности верхней части воронки, во-первых, трудно выполнима технологически и требует добавочных конструктивных швов, что ведет к росту потерь на смачивание, во-вторых, сильно увеличивает площадь смачивания и способствует повисанию капель. Наконец, загиб верхней части воронки исключает разбрызгивание в редких случаях выпадения дождя.

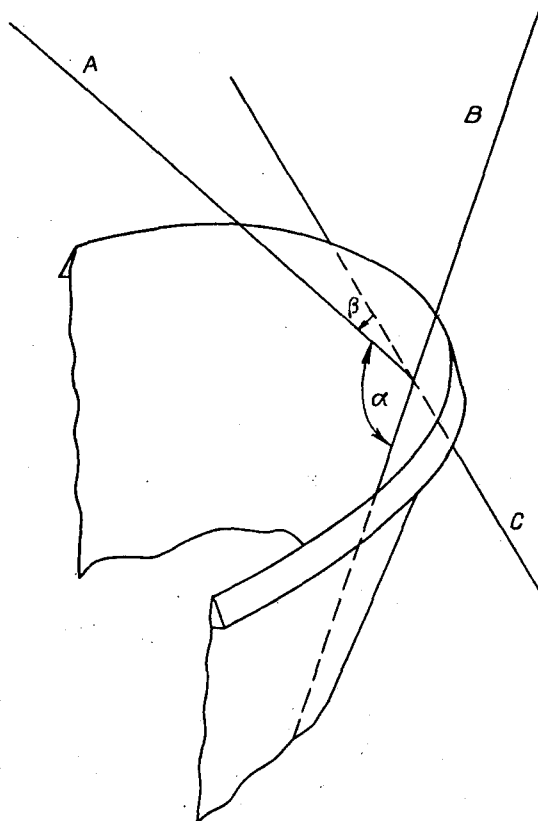


Рис. 1. Углы встречи капли со стенкой приемного сосуда.

α — угол встречи в вертикальной плоскости; β — угол встречи в плоскости траектории капли; A — траектория капли; B — линия сечения стенки сосуда вертикальной плоскостью; C — касательная к поверхности сосуда в точке удара капли.

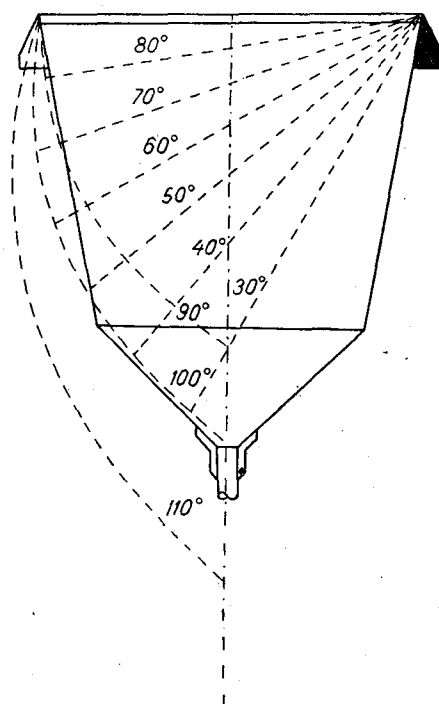


Рис. 2. Меридиональное сечение осадко-приемной воронки.

при ураганном ветре, когда угол падения капель не менее 80° к вертикали.

Равновесная скорость падения капель считается [9] в среднем равной при обложных дождях около 4 м/сек, при крупнокапельных ливневых дождях около 6 м/сек. Чтобы угол падения капель к вертикали был равен 80° , скорость ветра должна быть при обложных дождях 24 м/сек, при ливневых дождях 35 м/сек. Дожди при таких скоростях ветра составляют менее 2% общего числа дождей; ради достижения чисто теоретической строгости измерения в этих особых случаях (когда ветровая погрешность на порядок больше всех прочих погрешностей) не имеет смысла ухудшать общие качества воронки.

При выборе формы воронки учитывались все изложенные данные об испарении, смачивании и разбрызгивании. Наилучшее решение было найдено в том, чтобы аппроксимировать дугу логарифмической спирали (соответствующую $\alpha=100^\circ$) образующими двух сопряженных конусов (как это показано на рис. 2 сплошными линиями). Получилась воронка с равномерно наклоненными гладкими стенками и наименьшей возможной поверхностью, обеспечивающая постоянный угол $\alpha=100^\circ$ для траектории капель, выпадающих при подавляющем большинстве дождей (т. е. при скоростях ветра меньше 24 м/сек. при обложных дождях и 35 м/сек. — при ливневых).

При площади приемной поверхности, равной 200 см², размеры воронки получились следующими: диаметр приемной поверхности $d=159,5$ мм, глубина $H=180$ мм (отношение $\frac{H}{d}=1,13$), длина образующей верхнего конуса $l_1=127$ мм, нижнего $l_2=60$ мм, длина сливной трубки 200 мм, ее внутренний диаметр $d_t=5$ мм, длина образующей приемного кольца $l_3=18$ мм, угол ее наклона 30° . При любой другой площади приемной поверхности форма воронки должна быть геометрически подобна описанной, в противном случае найденные закономерности будут нарушены.

Наконец, при создании новой модели дождемера нужно было учесть вероятные способы устранения ветровой погрешности измерения осадков.

Эта погрешность может быть исключена либо наземной установкой прибора (поскольку скорость ветра у поверхности земли считается равной нулю), либо достижением полного аэродинамического подобия осадкомеру Третьякова, который подробно исследован [3, 7] и его ветровые погрешности количественно определены относительно наземной установки в зависимости от скорости ветра.

Наиболее вероятной представляется наземная установка дождемера, однако она может быть применена не везде. В некоторых местностях будет сохранена установка прибора в защите Третьякова на высоте 2 м над землей. Такое сочетание установок допустимо, так как разработаны способы приведения показаний осадкомера Третьякова к наземному дождемеру.

Таким образом, в любом случае новая модель дождемера должна была в точности совпадать по внешним габаритам с ведром осадкомера Третьякова. Это требование определило выбор площади приемной поверхности (200 см²), а соответственно и размеры других элементов конструкции (воронка, трубка, бутылка), поскольку они взаимосвязаны.

В процессе работы было изготовлено и испытано несколько вариантов прибора; некоторые из них изготавливались даже небольшими сериями и рассылались на сеть станций под названием «осадкомер с бутылкой» и «модернизированный осадкомер ГГО». Все элементы этой конструкции проверялись (а иногда предварительно подбирались) экспериментальным путем, поскольку чисто теоретические решения здесь невозможны вследствие обилия влияющих факторов и принципиальных трудностей их учета. Сочетание расчетных и экспериментальных путей дало возможность выбрать окончательную конструкцию дождемера. Она изображена на рис. 3. В стандартный сосуд 1 (ведро осадкомера Третьякова) свободно вкладывается воронка 2, сливная трубка 3 которой на 1 мм не доходит до дна стеклянного осадкосборного сосуда (бутылки) 4. Сосуд закрыт крышкой 5. Комплект деталей показан на рис. 4. Измерение осадков производится с помощью обычного осадкомерного стакана.

В качестве осадкосборного сосуда из эксплуатационных соображений выбрана стандартная молочная бутылка ГОСТ 1103÷55 емкостью

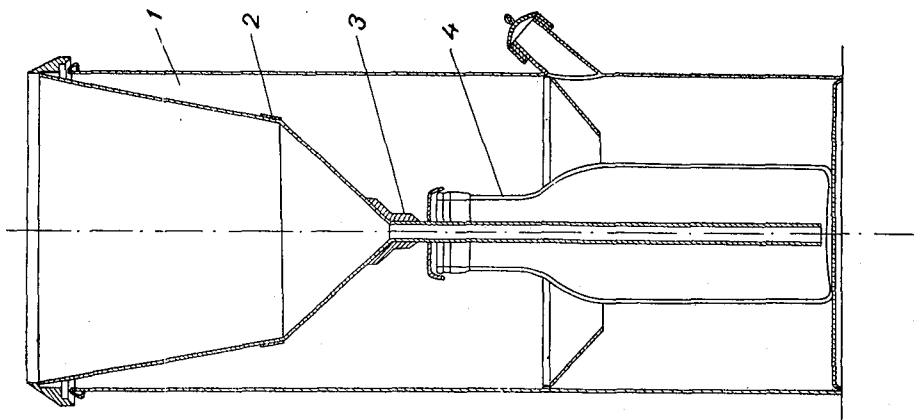


Рис. 3. Разрез разработанного дождемера.

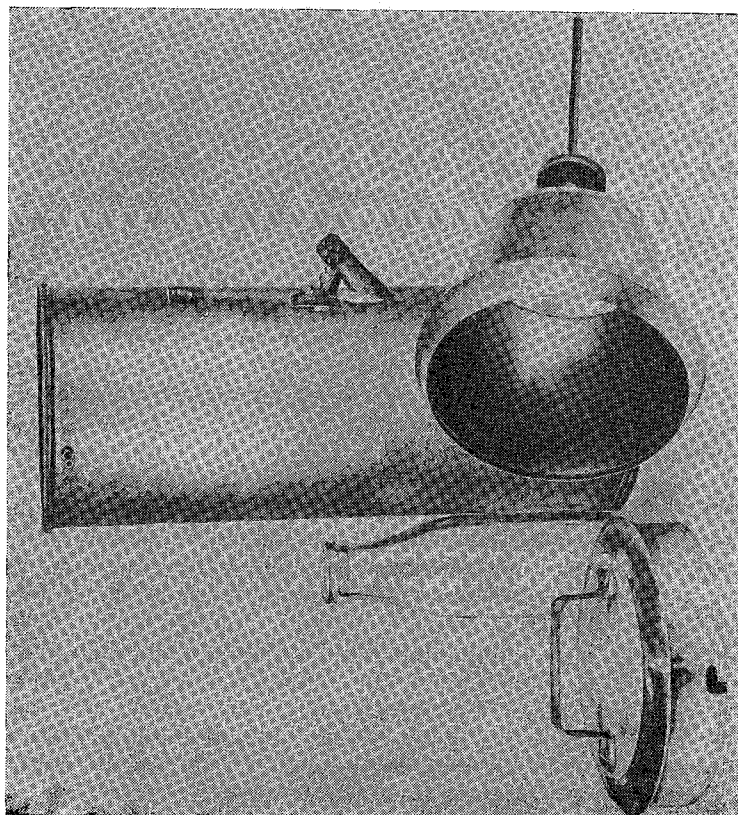


Рис. 4. Комплект деталей дождемера.

500 см³ (0,5 л). Такую бутылку легко мыть и, главное, при выходе ее из строя можно заменить точно такой же в любом районе страны.

Вместимость бутылки обеспечивает сбор 25 мм осадков за интервал между соседними сроками измерения осадков (т. е. примерно за 6—7 час.). В климатических условиях Советского Союза указанное количество осадков будет превышено в редких случаях. Если это произойдет, то вода из переполнившейся бутылки будет вытекать во внешний сосуд (ведро осадкомера Третьякова), где и останется до момента измерения. Потеря на смачивание в этом случае станет такой же, как у осадкомера Третьякова, и при измерении осадков следует ввести поправку 0,2 мм. Испарение осадков, которое будет происходить из внешнего сосуда, не имеет значения, потому что, во-первых, оно будет мало по величине (при выпадении такого большого количества осадков в короткий срок местность сильно увлажнена и дефицит влажности воздуха незначителен, а вероятное время испарения непродолжительно), во-вторых, даже максимальная возможная его величина меньше допустимой погрешности отсчета при измерении осадкомерным стаканом 25 мм осадков (при трех отсчетах по стакану допустима случайная ошибка 0,3 мм).

Разработанная модель дождемера испытывалась в лабораторных и в естественных условиях на метеорологических площадках экспериментальных осадкомерных баз, обсерваторий и гидрометеорологических станций в течение двух сезонов 1966—1967 гг.

Определение потерь на смачивание производилось в лаборатории путем измерения разности количеств налитой в сухой дождемер и вылитой из него воды. Наливание воды производилось разными способами: тонкой струйкой, каплями и путем разбрызгивания через тонкую иглу с помощью медицинского шприца (в последнем случае отсчет количества наливаемой воды производился по шкале, нанесенной на стенке шприца с точностью до 0,25 см³, что соответствует 0,012 мм слоя осадков). Количество наливаемой воды в разных опытах колебалось от 2 до 50 см³. Во всех случаях смачивалась вся действующая поверхность дождемера. Измерение вылитой воды делалось с помощью мерного цилиндра (мензурки) с ценой деления 1 см³ (0,05 мм слоя осадков). Почти 100 опытов, выполненных с разными экземплярами приборов, дали очень устойчивый результат: потеря на смачивание равна 0,05 мм на каждое измерение.

Позднее И. Г. Горбуновой было выполнено контрольное определение потерь на смачивание этого дождемера. Средний результат из 40 опытов оказался равным 0,06 мм, т. е. практически совпал с указанным выше (табл. 1).

Испытания в естественных условиях на метеорологической площадке производились в 25 пунктах, расположенных в различных зонах — от крайнего Севера и Сибири до Средней Азии. Потери на испарение методом «активного эксперимента» определялись в 15 пунктах (табл. 2). В дождемер наливалось измеренное количество воды, затем он выставлялся на метеорологическую площадку, и по окончании экспозиции измерялось оставшееся количество воды с учетом поправки на смачивание. Измерение производилось осадкомерным стаканом. В течение времени экспозиции (от 8 до 12 часов) несколько раз измерялась температура воздуха, его влажность и скорость ветра; их значения осреднялись за все время экспозиции и записывались при каждом опыте. Эксперименты производились в наиболее теплые и сухие дни, когда возможное испарение максимально. Из данных табл. 2 видно, что при экспериментах температура наблюдалась в пределах от 10 до 29°, дефицит влажности — от 5 до 28 мб, скорость ветра — от 1 до 5 м/сек.

Таблица 1

Результаты контрольного определения потерь на смачивание дождемера 0—1 м

Разность налитого в сухой дождемер и вылитого после смачивания количества воды		Число случаев	Суммарная потеря на смачивание, мм
в делениях мерного цилиндра	в мм слоя осадков		
0,5	0,025	3	0,08
1,0	0,05	24	1,20
1,5	0,08	6	0,48
2,0	0,10	6	0,60
2,5	0,13	—	—
3,0	0,15	1	0,15
Всего опытов		40	2,51
Средняя потеря на смачивание . . .			0,06

Поскольку отсчеты по осадкомерному стакану производились по тем же правилам, что и при измерении осадков, т. е. с округлением в большую сторону до целого деления, то результат каждого отдельного опыта записывался в десятых долях миллиметра слоя воды. Поправка на смачивание 0,05 мм по тому же принципу была округлена до 0,1 мм. Погрешность одного отсчета, как и при измерении осадков, могла составлять половину деления стакана, т. е. $\pm 0,05$ мм. Таким образом, погрешности измерения имели такой же порядок, как и величины определяемых потерь на испарение. В этом случае величину потерь можно оценить только путем рассмотрения средних величин по результатам многих опытов и характера повторяемости отсчетов по средним градациям.

Учитывая, что распределение случайных ошибок подчиняется нормальному закону, по суммам повторяемостей отсчетов по градациям — 0,1 мм, 0,0 мм, 0,1 мм и 0,2 мм, показанным в табл. 2, можно сделать вывод, что действительный максимум находится между величинами 0,0—0,1 мм, ближе к первой.

Средняя величина потерь на испарение, вычисленная как результат всех 610 опытов, лишь немногим больше нуля и составляет 0,017 мм в течение 11-часовой экспозиции. Если учесть систематическую ошибку 0,05 мм от преувеличения поправки на смачивание, то средняя из всех опытов величина потерь на испарение из нового дождемера составляет 0,067 мм за 11 час., что соответствует интенсивности испарения 0,006 мм/час. На некоторых станциях за отдельные месяцы интенсивность, как видно из табл. 2, колеблется от 0 до 0,011 мм/час., причем какой-либо физической зависимости от дефицита влажности, скорости ветра или температуры обнаружить не удалось. Интенсивность испарения менялась лишь в зависимости от случайного распределения отсчетов. По-видимому, эти колебания имели не физическую причину, а возникли вследствие ошибок в отсчетах.

Из изложенного видно, что потери на испарение из новой модели дождемера пренебрежимо малы, так как даже при интенсивности испарения 0,006 мм/час, измеренной в специально выбранных условиях, способствующих максимальному испарению, полусуточная сумма испарившихся осадков не достигает величины 0,1 мм. Практически же интервал между наблюдениями на гидрометеорологических станциях всегда меньше 12 часов.

Таблица 2

Результат определения испарения из новой модели дождемера активным методом
на испытательных пунктах

Период		Повторяемость отсчетов по градациям (число случаев)				Число опытов	Среднее испарение, мм	Средняя длительность опыта, часы	Интенсивность испарения, мм/час.	t град.	U м/сек.	d мб
год	месяц	—0,1 мм	0,0 мм	0,1 мм	0,2 мм							
Северо-запад Европейской территории СССР (ЕТС)												
Воейково, экспериментальная база												
1967	V	—	—	—	—	—	—	—	0,001	16	2,2	10
	VI	—	—	—	—	—	—	—	0,006	17	3,0	10
	VII	—	—	—	—	—	—	—	0,003	19	2,1	10
Белорусская ССР												
Минск, обсерватория												
1966	VII	—	4	—	—	4	0,000	12	0,000	25	2,7	12
	VIII	—	3	3	—	6	0,050	12	0,004	26	2,5	12
1967	VI	—	6	—	—	6	0,000	9	0,000	23	2,0	13
	VII	—	15	3	1	19	0,025	12	0,002	21	2,4	13
	VIII	—	5	4	—	9	0,044	12	0,003	22	2,0	11
Столбцы, гидрометстанция												
1966	VIII	—	22	4	—	26	0,015	12	0,001	18	3,5	10
	IX	—	19	—	—	19	0,000	12	0,000	14	5,1	5
1967	V	2	17	1	—	20	0,005	12	0,000	20	3,3	11
	VI	—	18	4	—	22	0,018	12	0,001	20	3,3	14
	VII	—	25	1	—	26	0,004	12	0,000	21	2,5	13
	VIII	—	20	2	—	22	0,009	12	0,001	19	2,1	10
	IX	2	21	3	—	26	0,004	12	0,000	17	3,0	9
Верхнее Поволжье												
Горький, обсерватория												
1966	VII	—	5	5	—	10	0,050	12	0,004	20	0,8	11
	VIII	—	14	2	—	16	0,010	8	0,001	21	0,8	11
	IX	—	5	—	—	5	0,000	8	0,000	15	1,0	6
Сарапул, гидрометстанция												
1966	VIII	—	10	3	—	13	0,020	7	0,003	14	0,8	11
Среднее Поволжье												
Куйбышев, обсерватория												
1966	IX	—	8	2	—	10	0,020	9,5	0,002	27	1,4	23
Центр ЕТС												
Нижнедевицк, экспериментальная база												
1966	VII	—	2	—	—	2	0,000	12	0,000	21	2,0	9
	VIII	—	37	3	—	40	0,001	11	0,000	20	1,3	11
	IX	—	34	4	—	38	0,001	10	0,000	13	1,7	9
	X	—	14	8	—	22	0,036	11	0,003	10	2,3	8

Период		Повторяемость отсчетов по градациям (число случаев)				Число опытов	Среднее испарение, мм	Средняя длительность опыта, часы	Интенсивность испарения, мм/час.	t град.	U м/сек.	d мб
год	месяц	—0,1 мм	0,0 мм	0,2 мм	0,1 мм							
Украинская ССР												
Велико-Анаполь, гидрометстанция												
1967	VI	—	1	1	—	2	0,050	12	0,004	23	5,0	15
	VII	—	2	1	—	3	0,030	12	0,003	28	2,7	18
	VIII	—	4	—	—	4	0,000	12	0,000	28	2,8	19
Жашков, гидрометстанция												
1967	VI	—	3	—	—	3	0,000	12	0,000	22	1,5	14
Грузинская ССР												
Поти, экспериментальная база												
1967	V	2	7	3	1	13	0,020	12	0,002	18	2,2	10
	VI	1	12	2	—	15	0,007	12	0,001	23	1,6	7
	VII	—	7	3	—	10	0,030	12	0,003	24	1,7	5
	VIII	2	7	2	—	11	0,000	12	0,000	22	1,1	6
	IX	1	4	2	—	7	0,010	12	0,001	22	1,5	10
Западная Сибирь												
Омск, экспериментальная база												
1966	IX	—	16	—	—	16	0,000	12	0,000	21	1,2	19
Огурцово, гидрометстанция												
1966	VII	—	14	—	—	14	0,000	12	0,000	20	1,7	14
	VIII	—	6	—	—	6	0,000	12	0,000	19	1,7	13
	IX	—	4	—	—	4	0,000	12	0,000	17	2,0	11
Казахстан												
Щучинск, экспериментальная база												
1966	VII	—	11	—	—	11	0,000	11	0,000	17	2,0	14
	VIII	—	11	5	1	17	0,035	12	0,003	22	2,8	19
	IX	—	8	3	—	11	0,030	12	0,002	19	2,2	16
Чокпар, экспериментальная база												
1966	VII	—	17	8	—	25	0,032	12	0,003	29	3,1	28
	VIII	—	21	5	1	27	0,026	12	0,002	28	3,2	24
	IX	—	7	2	3	12	0,062	12	0,006	23	3,0	17
	X	—	10	1	—	11	0,010	12	0,001	13	3,1	8
Колымское УГСМ												
Ола, экспериментальная база												
1967	VI	—	5	—	—	5	0,000	10	0,000	10	3,8	4
	VII	—	6	3	1	10	0,050	12	0,004	12	2,2	3
	VIII	—	6	2	2	10	0,060	12	0,005	14	3,0	6
	IX	—	2	—	—	2	0,000	12	0,000	7	1,1	3
Сумма		10	495	95	10	610	—	—	—	—	—	—
Среднее		—	—	—	—	—	0,017	11,5	0,001	—	—	—
Среднее с учетом поправки на смачивание Δq = 0,05 мм		—	—	—	—	—	0,067	11,5	0,006	—	—	—

В процессе испытания прибора в естественных условиях исследовались также его эксплуатационные свойства. По заключению испытательных пунктов, прибор в эксплуатации удобен. Уход за ним такой же, как за обычным осадкомером, с тем отличием, что при наблюдениях не нужно уносить с площадки ведро, а только закрытую пробкой бутылку, что гораздо удобнее. Высказывались пожелания, чтобы в дальнейшем взамен бутылки в дождемере устанавливался градуированный измерительный цилиндр, чтобы можно было отсчитывать количество осадков на месте.

Заключение

В процессе создания новой модели дождемера были найдены некоторые общие решения задачи уменьшения потерь измеряемых осадков из-за смачивания прибора, испарения и разбрызгивания капель. Эти решения могут быть использованы при конструировании любого осадкомерного прибора.

В результате проделанной работы удалось достичь следующего:

а) потери на смачивание прибора при измерении жидких осадков уменьшены в 4 раза по сравнению с потерями осадкомера Третьякова.

б) Потери на испарение при ежедневных измерениях осадков практически исключены.

в) Потери осадков путем разбрызгивания капель незначительны.

Ветровая погрешность измерения осадков новым дождемером может быть учтена, так как прибор аэродинамически подобен осадкомеру Третьякова, ветровые погрешности которого известны.

Новая модель по своим свойствам пригодна и для использования в качестве суммарного дождемера, так как она отвечает основному требованию к такому прибору: устранению испарения собранных осадков. Для превращения новой модели в суммарный дождемер нужно увеличить длину его ведра и взять бутылку больших размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дроздов О. А., Зубенок Л. И., Нечаев И. Н. Погрешности учета атмосферных осадков. Труды ГГО, вып. 175, 1965.
2. Струзер Л. Р. Основные недостатки и пути улучшения методов измерения атмосферных осадков. Труды ГГО, вып. 175, 1965.
3. Струзер Л. Р., Нечаев И. Н., Богданова Э. Г. Систематические погрешности измерения атмосферных осадков. Метеорология и гидрология, № 10, 1965.
4. Нечаев И. Н. Потери осадков на смачивание осадкомеров и методика корректировки сумм осадков. Труды ГГО, вып. 175, 1965.
5. Нечаев И. Н. Корректировка месячных и годовых норм осадков поправками на смачивание осадкомерных сосудов. Труды ГГО, вып. 195, 1966.
6. Нечаев И. Н. Исследование погрешности измерения атмосферных осадков, вызванной испарением их из прибора. Труды ГГО, вып. 215, 1968.
7. Богданова Э. Г. Исследование ветровой погрешности измерения осадков. Труды ГГО, вып. 195, 1966.
8. Доклад рабочей группы по измерению осадков. ВМО, Париж, 1957 (перевод с французского).
9. Мейсон Б. Д. Физика облаков. Гидрометеиздат. Л., 1961.
10. Observer's Handbook. 2nd ed. London. Her Majesty's Stationary Office. 1956.

СОДЕРЖАНИЕ

И. А. Берлин, Т. П. Светлова, Л. Ф. Школяр. Применение линейной интерполяции для контроля результатов наблюдений	3
Т. П. Светлова. Опыт критического анализа данных температуры воздуха на ЭВМ «Урал-4»	8
Е. Г. Алексеева, Л. А. Грошева. О критическом анализе средних месячных значений скорости ветра	19
Т. П. Светлова. О приложении методики объективного анализа к контролю поля давления	31
В. С. Копычева, А. И. Полищук, Т. П. Светлова. К вопросу о контроле данных продолжительности солнечного сияния и количества облачности	42
Р. Л. Каган. О точности интерполяции при критическом анализе метеорологических данных	48
М. В. Гущина, А. И. Полищук. О точности интерполяции месячных и сезонных сумм осадков	53
И. В. Литвинов, И. С. Павлова, А. И. Полищук. Некоторые данные о структуре поля зимних осадков	60
Т. А. Огнева. О необходимой густоте сети теплобалансовых станций	65
Н. А. Касьян. Горизонтальная изменчивость градиентов температуры и влажности воздуха	79
С. А. Смирнов. К вопросу о методике измерения температуры поверхности почвы	92
Т. А. Огнева. Некоторые вопросы применения метода теплового баланса для определения испарения с сельскохозяйственных полей	99
Л. П. Лапшова. Сравнение различных методов определения испарения на орошаемом поле Вахшской долины Таджикистана	109
И. Н. Нечаев. Выбор элементов конструкции новой модели дождемера	117

Труды ГГО, вып. 230

Контроль и первичный анализ результатов
метеорологических наблюдений

Редактор *З. Н. Пильникова*
Технич. редактор *Г. С. Николаева*
Корректор *Л. И. Хромова*

Сдано в набор 5/III 1968 г. Подписано к печати 4/VI 1968 г.
Бум. тип. № 1 70×108¹/₁₆. Бум. л. 4,25. Усл. печ. л. 11,9.
Уч.-изд. л. 11,69. М-21884. Индекс МЛ-12. Тираж 800 экз.
Заказ 219. Цена 82 коп.

Гидрометеорологическое издательство
Ленинград, В-53, 2-я линия, 23

Ленинградская типография № 8 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Ленинград, Прачечный пер., д. 6.