

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ПРОВЕРЕНО
1951 г.

06
Т 78

ПРОВЕРЕНО
1960 г.

Т Р У Д Ы
ГЛАВНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ
имени А. И. Воейкова

ВЫПУСК 25 (87)

МЕТОДИКА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Под редакцией
Н. П. РУСИНА

БИБЛИОТЕКА
ЛЕНИНГРАДСКОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЛЕНИНГРАД • 1951

Редактор *Н. П. Русин.*

Техн. редакторы: *Ф. А. Юлиш* и *М. С. Рулева.*

Корректоры: *М. Т. Иванова* и *Б. В. Раевский.*

Сдано в набор 31/1 1951 г. Подписано к печати 7/IV 1951 г. Изд. № 126.
Индекс М-Л-126. Бумага 70×105. Бум. л. 3. Печ. л. 8. Уч.-изд. л. 8,67.
Печ. зн. в 1 бум. л. 115 265. Тираж 800 экз. Заказ № 240.
М-24912. г. Ленинград. Гидрометеоздат. 1951 г. Цена 5 р. 25 к.

2-я типо-литография Гидрометеоздата, Ленинград, Прачечный пер., 6.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
Д. Лебедева и С. А. Смирнов. Погрешности метода измерения температуры и влажности воздуха психрометрическими термометрами в будке	5
П. Русин. Измерение вертикального градиента температуры в приземном слое воздуха для целей прикладной метеорологии и климатологии	20
М. Клестова. Погрешности поправок анероидов, применяемых на сети метеорологических станций	27
И. Каменева. Погрешности поверки аспирационных психрометров	37
И. Каменева. О точности поверки волосных гигрометров	49
Е. Воробьев. К вопросу методики метеорологических наблюдений на пустынных станциях	66
П. Русин. К вопросу методики обработки наблюдений над влажностью воздуха	78
Н. Нечаев. О методике наблюдений температуры поверхности снега	84
Ф. Никитин. К методике просмотра наблюдений над температурой почвы на малых глубинах	88
Л. Гакен. Об изменчивости поправок гигрометров	93

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий сборник Трудов Главной геофизической обсерватории включает работы, связанные с вопросами методики метеорологических наблюдений и приборов. Также как и в предыдущем сборнике Трудов этого направления (вып. 21 (83) Гидрометеиздат, 1950 г.), основное внимание работ направлено на вопросы изучения точности определения метеорологических элементов и их обработку существующими методами, а также на вопросы рационализации этих методов. К таким работам относятся статьи К. Д. Лебедевой и С. А. Смирнова „Погрешности методов измерения температуры и влажности воздуха психрометрическими термометрами в будке“; статьи Н. П. Русина, М. Ф. Никитина, Г. Л. Гакен и И. Н. Нечаева

В статьях Н. П. Русина „Измерение вертикального градиента температуры в приземном слое воздуха для целей прикладной метеорологии и климатологии“ И. Е. Воробьева „К вопросу методики метеорологических наблюдений на пустынных станциях“ подняты новые вопросы, связанные с разработкой методики производства градиентных наблюдений в широком масштабе, с изменением и уточнением методики наблюдений на специальных станциях (пустынных, горных и др.).

Большое место в сборнике отводится работам, связанным с поверкой метеорологических приборов: изучению погрешностей поверки, обоснованию установленных допусков и вытекающих отсюда вопросов рационализации существующих методов поверки. К этому разделу относятся работы А. И. Каменевой „Погрешности поверки аспирационных психрометров“ и „О точности поверки волосных гигрометров“ и М. М. Клестовой „Погрешности поправок анероидов, применяемых на сети метеорологических станций“.

Все публикуемые статьи имеют конкретные практические выводы, которые могут быть использованы в практике гидрометеорологических наблюдений и обработки.

К. Д. ЛЕБЕДЕВА и С. А. СМИРНОВ

ПОГРЕШНОСТИ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА ПСИХРОМЕТРИЧЕСКИМИ ТЕРМОМЕТРАМИ В БУДКЕ

Введение

Многочисленные наблюдения над температурой и влажностью приземного слоя воздуха, произведенные целым рядом исследователей (С. И. Савинов, В. И. Попов, Р. Жуковский, М. И. Гольцман и др.), со всей очевидностью показали, что и элементы подвержены беспорядочным, частым и довольно значительным по своей амплитуде колебаниям, вызванным турбулентным состоянием среды. Поэтому при оценке температуры и влажности приземного слоя воздуха существующими методами получаются значительные погрешности.

Измерения температуры воздуха в двух точках, отстоящих одна от другой на несколько десятков сантиметров, в отдельных случаях могут дать результаты, различающиеся на целые градусы. Два последовательных измерения температуры одной точке пространства также могут дать значительно расходящиеся величины.

Такая же картина наблюдается и при определениях влажности.

Вопрос о микроколебаниях температуры и влажности воздуха с достаточной ясностью освещен в ряде работ М. И. Гольцмана и других ученых.

Как известно, микроколебания температуры и влажности воздуха сглаживаются применением приборов, обладающих значительной инерцией и принятых на сети измерения этих элементов. Психрометрический термометр, устанавливаемый в будке, благодаря своей инерции дает какую-то среднюю температуру, более соответствующую действительной температуре, но значительно отличающуюся от температуры, полученной по безинерционному прибору.

Кроме особенностей воздушной среды, на результаты измерений указанных элементов могут оказать влияние отдельные отступления от принятых условий установки приборов и в производстве наблюдений. Как увидим ниже, некоторые нарушения условий в установке приборов существенно не увеличивают погрешности метода измерений температуры и влажности воздуха. В то же время разновременность отсчетов по термометрам, помещенным в различных будках, увеличивает эти погрешности в значительной степени.

Обоснование требований к степени точности проводящихся на сети метеорологических наблюдений выдвинуто в настоящее время вновь как одна из первоочередных методических задач, связанных с рационализацией методов наблюдения обработки.

При разрешении этих задач необходимо различать точность отсчета по прибору и точность измерения данного элемента, так как степень точности метеорологических наблюдений надо рассматривать с точки зрения их репрезентативности, т. е. того, насколько полученная измерением величина является характерной для данного элемента.

Целью описываемых в настоящей статье работ являлось экспериментальное определение погрешностей принятого метода измерения температуры и влажности воздуха психрометрическими термометрами в будке.

Работы, связанные с изучением этих погрешностей, были начаты летом 1949 г. старшим научным сотрудником ГГО И. В. Смирновой и старшими техниками М. С. Заниной и С. С. Посадским, которые собрали обширный материал наблюдений над температурой воздуха. На основании этого материала И. В. Смирновой были сделаны вполне обоснованные и интересные выводы.

Неожиданная смерть не позволила И. В. Смирновой довести начатую работу до конца. В 1950 г. эта работа была продолжена и распространена на изучение погрешностей метода измерений влажности воздуха. Работа проводилась на метеостанции ГГО в поселке Воейково научными сотрудниками Обсерватории К. Д. Лебедевой, Н. Я. Каулин, С. А. Смирновым и старшим техником А. Г. Мелеховой.

В соответствии с поставленной задачей необходимо было установить влияние оказываемое на погрешность метода измерения температуры и влажности приземного слоя воздуха погодными условиями, а также отступлениями от принятой методики наблюдений как в установке приборов, так и в производстве самих наблюдений. Для этого необходимо было выяснить влияние на величину погрешности метода следующих „случайных“ факторов, которые могут встретиться в практике гидрометнаблюдений:

- 1) местоположение будки в пределах метплощадки;
- 2) несоблюдение точных сроков производства наблюдений;
- 3) состояние окраски психрометрической будки;
- 4) отдельные повреждения будки.

Кроме того, требовалось выяснить влияние, которое оказывают на погрешности метода ветер и микроколебания измеряемых элементов, вызванные турбулентным состоянием среды.

Для проведения указанных выше исследований на методической площадке метеостанции Обсерватории был установлен ряд психрометрических будок с психрометрическими термометрами, по которым велись наблюдения над температурой и влажностью воздуха.

Методическая площадка расположена на плоской вершине одного из холмов характерных для данной местности, вблизи его западного склона, несколько севернее основной метплощадки станции Воейково.

Склон холма, пологий вначале, становится довольно крутым по мере удаления от метплощадки и переходит в равнинную местность, поросшую редким кустарником и луговыми травами. Местоположение площадки открытое. Ближайшие строения находятся в 70—100 м к северу и в 150—200 м к юго-востоку, а кустарник и отдельные деревья — на расстоянии 70—100 м от площадки.

Методическая площадка размером 36×36 м обнесена провололочной оградой. Подстилающая поверхность на площадке — травяной покров высотой 20—30 см.

На площадке было размещено 6 психрометрических будок, расположенных в два ряда в направлении с востока на запад. В первом ряду находились 4 будки на расстоянии 5—6 м одна от другой и во втором ряду — 2 будки.

Во время наблюдений по термометрам определялись ветер и облачность. Для обнаружения микроколебаний температуры воздуха применялись термометры термоэлектрического психрометра, инерция которых равнялась инерции психрометрических термометров, и безинерционный термометр сопротивления.

Кроме того, при наблюдениях летом 1950 г. использовался психрометр сопротивления, состоящий из двух термометров сопротивления, один из которых был обернут батистом и смачивался дистиллированной водой. Показания термометров сопротивления записывались через каждые 20 сек. гальванометром СГ-3. Наблюдения по психрометрическим термометрам в 1949 г. начались 11/VII и продолжались с небольшими перерывами из-за условий погоды по сентябрь. Термометры считывались ежедневно через 2 часа, а в совершенно ясную погоду — через 1 час и охватывали период с 8—9 до 17—19 час. среднего солнечного времени. Отсчеты

о термометрам в различных будках производились одновременно (в пределах —4 мин.) одним наблюдателем. Одновременность отсчетов позволила выявить влияние, оказываемое несоблюдением точных сроков производства наблюдений, на погрешность метода определения температуры воздуха.

В 1950 г. наблюдения велись в период с марта по июнь включительно, а также ноябре. Отсчеты в будках производились в постоянные сроки 7.58, 10.58, 13.00, 3.58, 16.58 по среднему солнечному времени. Эти наблюдения, при которых ртутные термометры в различных будках отсчитывались одновременно, подтвердили основные выводы, сделанные на основании материалов наблюдений 1949 г.

Как в 1949, так и в 1950 г. в отдельных случаях наблюдения проводились круглосуточно.

Погрешности метода измерения температуры воздуха психрометрическими термометрами в будке

Как уже указывалось, погрешности метода измерения температуры воздуха психрометрической будке складываются из погрешностей, связанных с методикой проведения указанных наблюдений (местоположение будки, ее окраска, состояние будки и т. д.), и погрешностей, связанных с большими и частыми изменениями этого элемента вследствие турбулентного состояния воздуха.

Погрешность метода измерения температуры воздуха в зависимости от местоположения будки в пределах метплощадки и от характера подстилающей поверхности

Для решения этой задачи были проведены сравнительные наблюдения за ряд дней в июне 1949 г. и за июнь 1950 г. по ртутным термометрам в четырех будках, установленных на методической площадке с естественной подстилающей поверхностью (травяной покров). Кроме того, в июне 1950 г. параллельно проводились наблюдения в двух будках, установленных на площадке с оголенной подстилающей поверхностью (черный пар).

Материалы наблюдений показали, что в пасмурную погоду, когда прямая солнечная радиация отсутствует, расхождения показаний термометров в срок наблюдений в четырех будках на методической площадке и в двух будках на оголенной поверхности не превышают $0,2-0,3^\circ$. Последнее позволяет сделать заключение о том, что местоположение будки в пределах метплощадки, а также указанное различие подстилающих поверхностей под будками влияет на результат измерения температуры воздуха только в пределах $0,2-0,3^\circ$, что, как увидим ниже, не превышает погрешности метода измерения температуры воздуха. При малой облачности и наличии прямой солнечной радиации указанные расхождения достигали $0,3-0,4^\circ$. Они также не носят какого-то закономерного характера, позволяющего сделать вывод о зависимости их от рассматриваемых факторов, и лежат в пределах погрешности метода.

Погрешность метода измерения температуры воздуха в зависимости от несоблюдения точных сроков производства наблюдений

Разновременность отсчетов по термометрам в различных психрометрических будках не влияет на результат измерений при условии пасмурной или малооблачной, солнечной погоды, когда интенсивность прямой солнечной радиации резко не меняется.

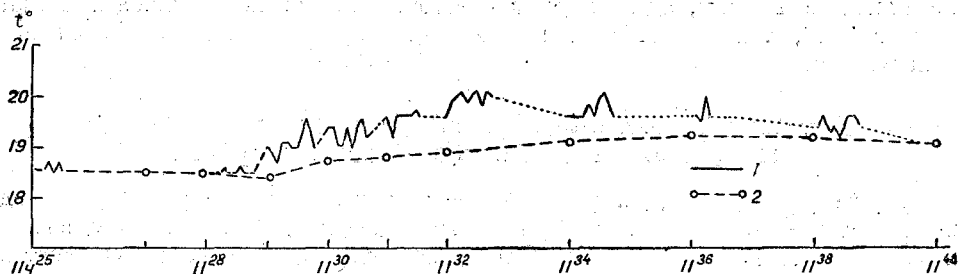
Иначе обстоит дело при переменной облачности, когда изменения прямой солнечной радиации значительны.

Температура воздуха в будке быстро реагирует на изменения интенсивности солнечной радиации, о чем свидетельствуют материалы наблюдений по безинерционному термометру сопротивления, представленные на рис. 1. На графике изображен ход температуры в будке по безинерционному термометру сопротивления и одному из термометров термоэлектрического психрометра с инерцией, равной инерции

ртутного термометра, установленных в будке рядом с левым психрометрическим термометром.

Показания безинерционного термометра сопротивления отсчитывались в течение 1 мин. через 5—6 сек., затем возобновлялись, спустя 1—2 мин. В середине каждой серии брался отсчет по термоэлектрическому термометру.

За период наблюдений интенсивность солнечной радиации значительно менялась. Из графика видно, что микроколебания температуры воздуха в будке при незакрытом облаками солнце за 1—2 мин. составляли $0,5—0,6^{\circ}$, а при отсутствии



В 11:30 отмечено появление солнца.

Рис. 1. Микроколебания температуры воздуха в будке по безинерционному термометру сопротивления 12/IX 1949 г., Воейково.

1 — температура воздуха в будке по безинерционному термометру, 2 — по термоэлектрическому термометру.

солнца не превышали за то же время $0,3^{\circ}$. Инерционный термометр термоэлектрического психрометра хотя и реагировал на эти колебания, но значительно сглаживал их. Поэтому его показания являются как бы осредненными показаниями безинерционного термометра сопротивления. Это особенно наглядно подтверждается ходом температуры по показаниям двух указанных выше термометров и ртутного психрометрического термометра, помещенных внутри будки (рис. 2). Наблюдения по этим термометрам производились при меняющейся высококучевой облачности:

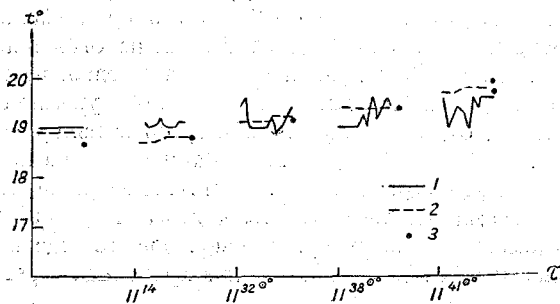


Рис. 2. Микроколебания температуры воздуха в будке 30/VIII 1949 г.

1 — температура по термометру сопротивления в будке, 2 — по термоэлектрическому термометру в будке, 3 — по психрометрическому термометру в будке.

В начале наблюдений солнце было полностью закрыто облаками, а затем облачность начала разрежаться. Отсчеты по электрическим термометрам, так же как и в предыдущих наблюдениях, производились отдельными сериями через каждые 5—6 сек. Ртутные психрометрические термометры реагируют на микроколебания температуры так же, как и термометры термоэлектрического психрометра. Поэтому при одновременном отсчете во всех четырех будках разности между показаниями термометров невелики и укладываются в пределы

указанных выше погрешностей. Однако при проведении опытов в будках не синхронно разности между показаниями термометров могут значительно увеличиться, особенно если отсчеты по ним будут производиться при различной интенсивности солнечного сияния. Поэтому при проведении разновременных отсчетов в будке, отличающихся между собой на несколько (3—4) минут, даже в наших наблюдениях расхождения доходили до $0,6—0,8^{\circ}$, а в отдельных случаях и до 1° .

Так, при наблюдениях 15/VII 1949 г. в 10 час. при облачности 9/9 и ветре 7 м/сек. термометры в четырех будках дали расхождение в оценке температуры на $1,1^{\circ}$. Это объясняется тем, что солнце вышло из-за облаков перед самым

наблюдением, и термометр, отсчитываемый раньше других, не успел отметить повышение и показал только 13,7°. Отсчеты термометров в остальных трех будках постепенно возрастали, и в последней будке термометр показал 14,8°.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что погрешность наблюдения значительно увеличивается за счет изменения интенсивности солнечной радиации при переменной облачности, т. е. за счет ошибки во времени наблюдения.

Таким образом, расхождения в показаниях термометров, вызванные неоднородностью установки будок и различием во времени отсчета термометров, могут меняться в довольно широких пределах.

В табл. 1 дана повторяемость расхождений в показаниях термометров в четырех стандартных будках в срок наблюдения за весь период исследования в 1949 г. для всех условий погоды.

Таблица 1

	Расхождения, град.										Всего
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	> 0,8	
Число случаев . .	13	74	76	41	26	7	5	4	3	1	250
Повторяемость, %	5	30	30	17	10	3	2	2	1	0	100

Как видно из таблицы, средняя величина расхождений составляет 0,23°, а 95% всех случаев дают расхождение в пределах 0,5°. Расхождения свыше 0,5° отмечены только в 13 случаях.

Из случаев с расхождением в 0,5° и больше только три приходятся на сроки с небольшой облачностью (все при разности в 0,5°), в остальных отмечена большая облачность с кратковременным появлением солнца. Таким образом, можно заключить, что расхождения в показаниях психрометрических термометров, находящихся в различных будках, могут превышать 0,5° лишь в случаях одновременности отсчетов по ним при условии переменной облачности. При всех других условиях указанные расхождения не превышают 0,5°, в пасмурную погоду они уменьшаются до 0,3°.

Для подтверждения сделанного вывода нами были использованы материалы наблюдений метстанции Воейково, площадка которой находилась рядом с методической площадкой. Основная психрометрическая будка на станции находилась к югу от линии будок, по которым производились наблюдения. Сравнительные наблюдения в основные сроки (1, 7, 13, 19 час. — всего 52 случая) по термометрам в будках на методической и основной площадках подтверждали порядок расхождений, указанный выше.

И в этом случае подавляющее большинство расхождений в показаниях термометров различных будок не превышало 0,5°. При этом расхождения 0,4—0,5° и в одном случае 0,8° приходились также на условия прямой солнечной радиации.

Влияние микроколебаний температуры воздуха на погрешность метода измерения температуры

Для суждения о влиянии микроколебаний температуры воздуха на погрешность метода измерения температуры проводились наблюдения по указанным выше безинерционному термометру сопротивления, установленному вне будки с северной стороны и защищенному от прямой солнечной радиации, и по термометру термоэлектрического психрометра, установленному в будке. Оба термометра были расположены на одинаковой высоте (около 2 м). Наблюдения проводились при зна-

чительной верхней облачности сериями по 10—12 отсчетов через каждые 5 сек. и с перерывами между сериями в 1—2 мин. Эти наблюдения показали, что микроколебания температуры воздуха на высоте 2 м над поверхностью земли при значительной верхней облачности (отмечалось 9/0 Ас и ветер ВСВ 2 м/сек.) достигают около 2° за период наблюдений в 2 мин. (рис. 3). Температура воздуха внутри психрометрической будки следовала за колебаниями температуры воздуха вне будки, значительно сглаживая их. Максимальные колебания температуры воздуха в будке за двухминутный промежуток времени, так же как и в описанных выше случаях, достигали лишь $0,3^{\circ}$.

Эти наблюдения доказывают, что влияние, оказываемое микроколебаниями температуры воздуха на показания термометра

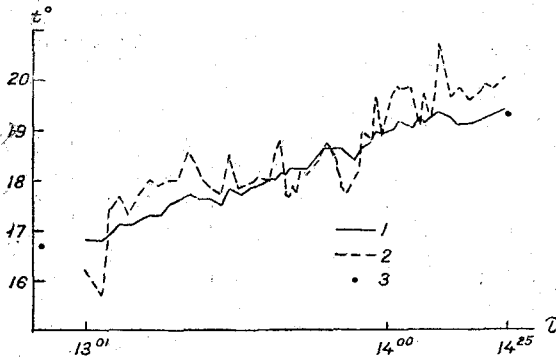


Рис. 3

1 — температура воздуха в будке по термоэлектрическому термометру, 2 — вне будки по безинерционному г. с., 3 — по стандартному психрометрическому термометру.

лежат в пределах установленной погрешности измерения температуры по термометру в будке при переменной облачности и меняющейся вследствие этого интенсивности прямой солнечной радиации, то единичный отсчет по термометру в будке в этом случае носит случайный, характер, и погрешность может значительно превышать указанную величину.

Влияние окраски психрометрической будки и отдельных повреждений будки на точность измерения температуры воздуха в срок наблюдения

Чтобы установить влияние окраски психрометрической будки на показания помещенных в ней термометров, на методической площадке были установлены две будки, одна из которых давно не окрашивалась (серого цвета), а вторая была выкрашена цинковыми белилами незадолго до начала наблюдений.

Отсчеты по термометрам производились сначала в окрашенной будке, а затем, спустя 1—2 мин., в будке серого цвета. Разности показаний термометров в срок наблюдений, как правило, были незначительными — порядка $0,2—0,3^{\circ}$ и разного знака. Однако в отдельных случаях показания термометров в неокрашенной будке были выше на $0,4—0,5^{\circ}$. В пасмурную погоду показания термометров в обеих будках были сближены между собой.

Отдельные случаи, когда разность показаний термометров в обеих будках достигала $0,4—0,5^{\circ}$, приведены в табл. 2.

Как видно из приведенных данных, только в двух последних случаях указанные разности могут быть объяснены состоянием окраски будок. Во всех же остальных случаях их можно объяснить разновременностью отсчетов при условии переменной облачности и меняющейся интенсивности солнечной радиации.

Из изложенного выше следует, что влияние окраски психрометрической будки на показания помещенного в ней термометра

термоэлектрического психрометра, существующего метода определения температуры воздуха в будке. Последнее может быть распространено и на стандартные психрометрические термометры, показания которых хорошо согласуются с показаниями термометра термоэлектрического психрометра, о чем уже говорилось выше.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что для исследуемого нами района погрешность оценки температуры воздуха по психрометрическому термометру, установленному в будке, при условии ясной погоды и незначительной облачности не превышает $0,5^{\circ}$. В пасмурную же погоду эта погрешность уменьшается до $0,3^{\circ}$. Что касается

в срок наблюдения лежит в пределах погрешности метода наблюдений.

Вопрос о том, каким образом сказываются на показаниях термометров в будке отдельные повреждения ее (одинарная крыша, отсутствие жалюзи, что довольно часто наблюдается на многих метстанциях сети), решался следующим образом.

Таблица 2

№ п/п	Дата	Час	Разность	Облачность, баллы	Ветер, направление и скорость, м/сек.
	1949 г.				
1	13/VII	13	0,4°	8/8	ЮЮЗ 2
2	23/VII	7	0,4	8/0	ВСВ 1
3	25/VII	13	0,5	9/7	ЮЮЗ 5
4	26/VII	16	0,5	4/4	3 9
5	1/VIII	9	0,4	2/2	С 4
6	11/VIII	18	0,5	0/0	ЗЮЗ 2
7	11/IX	10	0,5	1/0	ЮЮЗ 2

В период с 21/VII по 30/VII у одной из будок, стоявших на методической площадке, была снята крыша, и показания термометра, установленного в ней, сравнивались с показаниями термометров в остальных неповрежденных будках. Затем крыша была поставлена на место, и в западной стенке будки на уровне резервуаров психрометрических термометров была вынута одна наружная планка жалюзи, и наблюдения по термометрам были продолжены по 17/IX.

Как в первом, так и во втором случае сравнительные наблюдения велись по термометрам, установленным в четырех психрометрических будках, считая и „поврежденную“.

Материалы наблюдений показывают следующее: отсутствие крыши у психрометрической будки несколько уменьшает ее инерцию, что сказывается на показаниях установленного в ней термометра главным образом в дневные часы. В ясную малооблачную солнечную погоду показания термометра в будке без крыши выше показаний термометров в исправных будках на 0,1—0,3°. В пасмурную погоду при полной облачности показания термометров не различаются совсем. При переменной облачности термометр, установленный в будке без крыши, быстрее реагирует на изменение температуры воздуха, и в отдельных случаях его показания отличаются от показаний термометров в стандартных будках на 0,3—0,4°. В ночное время разница показаний в срок наблюдений термометров в стандартных будках и в будке без крыши того же порядка, что и разница показаний термометров, установленных в стандартных будках, т. е. 0,1—0,3°.

Таким образом, на основании полученного материала сравнительных наблюдений можно сделать вывод о том, что повреждение крыши у психрометрической будки не вносит существенных искажений в оценку температуры воздуха в срок наблюдений.

Расхождения между показаниями термометров в будке с отсутствующей планкой жалюзи и в неповрежденных будках не превышали расхождений между показаниями термометров в неповрежденных будках (0,1—0,3°).

Отсутствие в западной стенке будки одной наружной планки жалюзи также не оказывает влияния и на показания второго „правого“ термометра, помещенного значительно ближе к западной стенке, чем первый. Об этом можно было судить по близким между собой разностям показаний левого и правого термометров в стандартных будках и в будке с вынутой планкой жалюзи, которые были близки между собой, несмотря на солнечную погоду и западный ветер скоростью до 4 м/сек.

Определение погрешности метода измерения температуры воздуха психрометрическими термометрами в будке было повторено и в 1950 г., о чем уже говорилось выше.

Результаты наблюдений 1950 г. подтвердили сделанные ранее выводы о величине погрешности метода измерения температуры и показали, что в случае одновременности отсчетов по термометрам в различных будках расхождения в их показаниях более $0,5^\circ$ не имеют места ни при каких условиях погоды.

Погрешности метода определения влажности воздуха станционным психрометром

Наблюдения над влажностью воздуха начались в марте 1950 г. на методической площадке, описание которой дано выше, продолжались по июль и затем возобновились в ноябре. Наблюдения производились, как указывалось выше, в постоянные сроки. Кроме того, было проведено несколько круглосуточных наблюдений.

Методика производства наблюдений несколько отличалась от той, которая имела место при наблюдениях 1949 г. Отсчеты в различных будках производились синхронно, что исключало случайность в определении величин отдельных отклонений значений влажности вследствие неодновременности отсчетов.

При наблюдениях условно были приняты пять основных типов погоды:

- I — ясно тихо (с ветром 0—2 м/сек.),
- II — ясно с ветром,
- III — пасмурно тихо (с ветром 0—2 м/сек.),
- IV — пасмурно с ветром,
- V — переменная облачность.

Погрешность метода определения влажности воздуха станционным психрометром в зависимости от местоположения будки на метплощадке

Для выявления этой зависимости были проведены наблюдения над влажностью воздуха по станционным психрометрам в различных будках, расположенных на методической площадке.

Результаты наблюдений, характеризующие погрешности метода измерения влажности воздуха в срок наблюдений при различных типах погоды, приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Повторяемость отклонений единичных определений относительной влажности воздуха от средних значений (за март—июнь и ноябрь)

Тип погоды	Повторяемость в % и число случаев	Величина отклонений																	Общее число случаев		
		-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7		8	9
I	%	1	—	2	2	—	—	2	13	19	30	9	14	2	2	1	—	1	—	2	124
	Число случаев . .	1	—	2	2	—	—	2	16	24	37	12	18	2	4	1	—	1	—	2	
II	%	—	—	—	3	—	3	3	9	20	28	14	7	5	4	3	1	—	—	—	96
	Число случаев . .	—	—	—	3	—	2	2	9	20	27	14	7	5	4	2	1	—	—	—	
III	%	—	—	—	—	—	0	1	7	18	32	28	12	2	0	—	—	—	—	—	274
	Число случаев . .	—	—	—	—	—	1	5	18	52	90	70	32	5	1	—	—	—	—	—	
IV	%	—	—	—	0	0	0	2	10	20	35	20	10	3	0	0	0	—	—	—	522
	Число случаев . .	—	—	—	2	1	1	12	51	102	186	97	53	14	2	1	—	—	—	—	
V	%	—	—	—	—	—	0	2	5	20	41	21	8	3	—	—	—	—	—	—	289
	Число случаев . .	—	—	—	—	—	2	6	16	57	118	60	22	8	—	—	—	—	—	—	
Итого	%	0	—	0	0	0	0	2	9	19	37	20	10	2	1	0	0	0	—	0	1305
	Число случаев . .	1	—	2	7	1	6	27	110	255	458	253	132	34	11	4	1	1	—	2	

Повторяемость отклонений единичных определений абсолютной влажности воздуха от средних значений (за июнь)

Тип погоды	Повторяемость в % и число случаев	Величина отклонений															Общее число случаев					
		Величина отклонений																				
		-1,4	-1,3	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,3		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
I	%	—	—	—	—	—	2	2	9	19	9	12	6	10	9	2	10	2	6	2	—	48
	Число случаев	—	—	—	—	1	1	4	9	4	6	3	5	4	1	5	1	3	1	—		
II	%	—	—	—	25	—	—	—	—	—	—	—	50	—	—	—	—	—	25	—	—	4
	Число случаев	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	2	—	—	—	—	1	—	—		
III	%	1	1	—	—	1	—	1	3	8	14	10	22	16	11	7	1	1	1	1	1	115
	Число случаев	1	1	—	—	1	—	1	3	9	16	11	25	19	13	8	2	1	1	1	2	
IV	%	—	—	—	—	—	1	—	5	5	17	23	11	14	13	4	6	1	—	—	—	96
	Число случаев	—	—	—	—	—	1	—	5	5	16	22	11	13	12	4	6	1	—	—	—	
V	%	—	—	—	—	—	2	2	—	6	11	22	22	11	11	3	6	2	—	—	2	64
	Число случаев	—	—	—	—	—	1	1	—	4	8	14	14	7	7	2	4	1	—	—	1	
Итого	%	0	0	—	0	0	1	1	4	8	13	16	18	13	11	5	5	1	2	1	1	327
	Число случаев	1	1	—	1	1	3	3	12	27	44	53	55	44	36	15	17	4	5	2	3	

Таблица 5

Величины отклонений единичных определений относительной влажности воздуха, определенных в зависимости от направления ветра при различных типах погоды, от средних значений (за март и июнь)

Отклонение (+)	Штиль	Направление ветра															
		С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ
Тип I																	
0	1/0	—	0/1	0/5	0/2	—	—	—	—	0/1	2/0	—	—	0/2	0/1	—	—
1	1/3	—	0/2	0/2	0/1	—	—	—	—	1/3	1/0	—	—	4/0	1/2	—	—
2	0/1	—	0/1	0/5	0/1	—	—	—	—	2/3	3/0	—	—	0/2	4/1	—	—
3	1/0	—	—	—	—	—	—	—	—	1/1	1/0	—	—	—	—	—	—
4	2/0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/0	—	—
5	1/0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/0	1/0	—	—
7	1/0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/0	1/0	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	1/0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2/0	—	—	—
Тип II																	
0	—	—	1/0	2/0	—	—	—	—	—	—	—	—	1/0	—	2/2	1/1	—
1	—	—	—	5/0	—	—	—	—	—	—	—	—	1/0	—	2/0	6/3	—
2	—	—	2/0	7/0	—	—	—	—	—	—	—	—	1/0	—	0/1	3/0	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/0	—	—	—	—
4	—	—	1/0	3/0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3/0	—	—
5	—	—	—	2/0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/0	2/0	—	—
Тип III																	
0	3/1	—	1/2	1/4	—	—	0/2	0/10	—	0/2	0/6	2/4	0/1	0/2	0/4	—	—
1	3/1	4/0	0/1	0/6	0/2	0/2	0/1	0/6	—	3/3	0/8	3/6	0/2	0/7	0/4	—	—
2	1/1	—	3/1	5/2	0/2	0/2	0/1	0/2	—	1/1	0/5	6/1	0/1	0/3	—	—	—
3	—	—	—	2/0	—	—	—	—	—	0/2	0/2	—	—	—	—	—	—
4	1/0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0/2	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0/1	1/0	—	—	—	—	—
Тип IV																	
0	—	2/0	5/0	0/3	—	—	0/3	0/1	0/1	6/0	3/4	9/1	2/5	6/18	0/4	2/4	—
1	—	0/2	1/0	0/1	—	—	—	0/1	0/2	5/0	16/8	3/6	17/4	6/18	4/2	5/0	0/5
2	—	1/1	9/0	—	—	—	0/1	0/2	0/1	12/0	5/1	3/1	3/1	6/7	0/2	—	0/3
3	—	1/0	1/0	—	—	—	—	—	—	1/0	3/0	1/0	4/0	6/4	—	1/0	—
4	—	0/1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3/0	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2/0	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/—	—	—	1/0	—	—	—
Тип V																	
0	—	0/2	—	0/7	—	—	—	0/3	0/6	—	—	—	—	1/13	—	0/1	—
1	—	0/1	—	0/5	—	—	—	0/1	0/11	—	—	—	3/0	4/7	4/0	—	—
2	—	0/1	—	—	—	—	—	—	0/4	—	—	—	—	0/2	—	0/1	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	0/2	—	—	—	—	3/2	—	0/1	—
4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1/0	—	—	0/1	—
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. В числителе указано число случаев за март, в знаменателе — за июнь.

В табл. 3 указана повторяемость величин отклонения отдельного определения относительной влажности для каждой психрометрической будки от среднего арифметического из значений влажности по всем 4 будкам. Данные о величинах отклонения для абсолютной влажности воздуха помещены в табл. 4.

Повторяемость величин отклонения в каждой таблице дана в процентах и по числу случаев.

Как видно из этих таблиц, средняя величина отклонений составляет 1% для относительной и 0,2 мб для абсолютной влажности, а максимальное число случаев отклонений относительной влажности воздуха от среднего значения лежит в пределах $\pm 3\%$. Отдельные отклонения, превышающие указанную величину, приходятся на температуры воздуха порядка $-5,0^\circ$ и могут быть объяснены неточностью метода определения влажности воздуха при низких температурах. Подавляющее большинство отклонений абсолютной влажности от средней величины лежит в пределах $\pm 0,4$ мб.

Следует отметить, что в отклонениях показаний психрометра в будке от среднего арифметического из показаний для всех четырех будок не усматривается какой-либо закономерности, зависящей от местоположения будки на площадке. Если рассматривать материалы наблюдений, относящиеся к одним и тем же срокам и одному типу погоды, то можно установить, что разности между значениями влажности воздуха в различных будках не имеют постоянного знака. Это наблюдается при всех типах погоды.

Отсюда вытекает, что на величину погрешности определения влажности воздуха стационарным психрометром местоположение будки в пределах метплощадки не оказывает влияния.

Погрешность метода определения влажности воздуха стационарным психрометром в зависимости от скорости и направления ветра

Для выяснения влияния ветра на отклонение величин относительной влажности воздуха от средних значений были проведены специальные наблюдения. Результаты этих наблюдений представлены в табл. 5 и 6.

Таблица 6

Величина отклонений единичных определений относительной влажности воздуха, от средних значений в зависимости от скорости ветра (за март и июнь)

Отклонение (+)	Скорости ветра в м/сек.												
	0-2	2,5-3	3,5-4	4,5-5	5,5-6	6,5-7	7,5-8	8,5-9	9,5-10	10,5-11	11,5-12	12,5-13	13,5-14
0	11/62	13/32	8/16	6/6	—	0/2	3/13	5/0	1/5	—	6/0	—	—
1	21/70	11/30	21/13	15/8	6/0	6/3	0/15	5/0	9/7	—	3/0	—	—
2	19/40	12/0	11/7	13/4	—	0/2	2/2	10/0	2/2	—	3/0	—	1/0
3	6/13	6/0	7/1	4/0	—	—	—	—	3/1	—	—	—	1/0
4	5/1	3/0	2/1	1/0	1/0	1/0	—	—	0/1	—	—	—	2/0
5	2/1	—	—	3/0	—	—	—	—	1/0	—	—	—	—
6	1/0	2/0	1/0	2/0	—	1/0	—	—	—	—	—	—	—
7	3/0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	3/0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. В числителе указано число случаев за март, в знаменателе — за июнь.

Как видно из таблиц, направление и скорость ветра также не оказывают какого-либо закономерного влияния на величину отклонения от средних значений влажности воздуха.

Подавляющее большинство отклонений отдельных значений влажности от среднеарифметической величины, полученной по данным в различных будках, не превышает 3—4% при всех скоростях ветра.

Хотя величина влажности в каждом отдельном случае зависит от скорости и направления ветра, но влияние ветра не выходит за пределы указанных выше отклонений, за исключением отдельных случаев.

Влияние подстилающей поверхности на величину погрешности метода определения влажности воздуха стационарным психрометром

Одновременно с выявлением влияния подстилающей поверхности на показания психрометрических термометров в будке были проведены сравнительные наблюдения над влажностью воздуха по термометрам в 6 будках, четыре из которых, как уже упоминалось выше, были установлены на естественном травяном покрове, а две других — на площадке с оголенной подстилающей поверхностью (черный пар). Отсчеты термометров во всех шести будках также проводились одновременно.

Результаты исследований представлены в табл. 7.

Таблица 7

Повторяемость отклонений единичных определений относительной влажности воздуха, определенных на травяном покрове и на оголенной поверхности (черный пар), от средних значений влажности

Тип погоды	Повторяемость в % и число случаев	Величина отклонений, %										Общее число случаев	
		0		±1		±2		±3		±4			
		т. п.	о. п.	т. п.	о. п.	т. п.	о. п.	т. п.	о. п.	т. п.	о. п.	т. п.	о. п.
I	%	30	30	50	70	—	—	10	—	10	—	10	10
	Число случаев	3	3	5	7	—	—	1	—	1	—		
II	%	28	57	50	43	22	—	—	—	—	—	14	14
	Число случаев	4	8	7	6	3	—	—	—	—	—		
III	%	43	50	43	43	14	7	—	—	—	—	14	14
	Число случаев	6	7	6	6	2	1	—	—	—	—		
IV	%	50	50	40	30	10	20	—	—	—	—	10	10
	Число случаев	5	5	4	3	1	2	—	—	—	—		
V	%	43	54	43	41	14	5	—	—	—	—	22	22
	Число случаев	10	12	10	9	2	1	—	—	—	—		

Примечание. т. п. — травяной покров, о. п. — оголенная поверхность (черный пар).

Из таблицы видно, что указанное различие подстилающих поверхностей не увеличивает погрешности метода определения стационарным психрометром относительной влажности воздуха. Подавляющее большинство отклонений влажности для будок, установленных на оголенной поверхности и на поверхности с естественным травяным покровом, лежит в пределах $\pm 2\%$.

Микроколебания влажности воздуха в психрометрической будке и их влияние на погрешность метода определения влажности воздуха стационарным психрометром

Кроме исследований, связанных с определением погрешности метода наблюдения над влажностью воздуха, были проведены исследования, связанные с изучением микроколебаний влажности воздуха в будках и реагированием психрометрических термометров на эти микроколебания.

Микроколебания влажности воздуха в стандартной психрометрической будке следовались путем сравнения величин влажности, определенных по стационарному психрометру и психрометру сопротивления, обладающему малой инерцией. Оба психрометра находились в одной будке. Показания сухого и смоченного термометров сопротивления синхронно через каждые 20 сек. записывались гальванографом СГ-3, установленным на метстанции.

Отсчеты по психрометрическим термометрам производились через каждые 10 сек. при закрытой двери будки. В двери будки для этой цели было прорезано и застеклено небольшое окно.

В результате сравнительных наблюдений был получен обширный материал, часть которого представлена рис. 4 и 5 табл. 8 и 9.

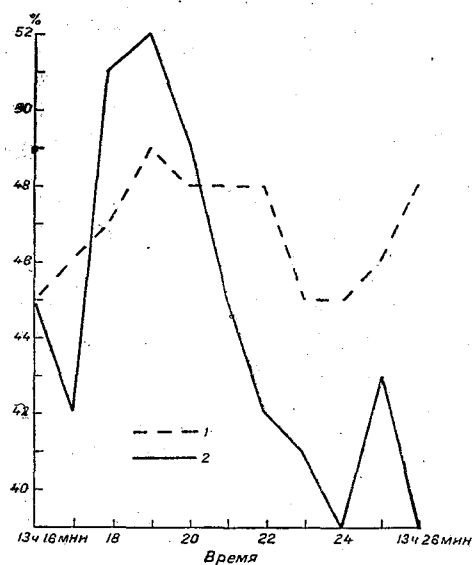


Рис. 4. Ход средних значений относительной влажности воздуха, определенных по психрометрическим термометрам сопротивления и термометром сопротивления. — по психрометрическому термометру; 2 — по термометрам сопротивления.

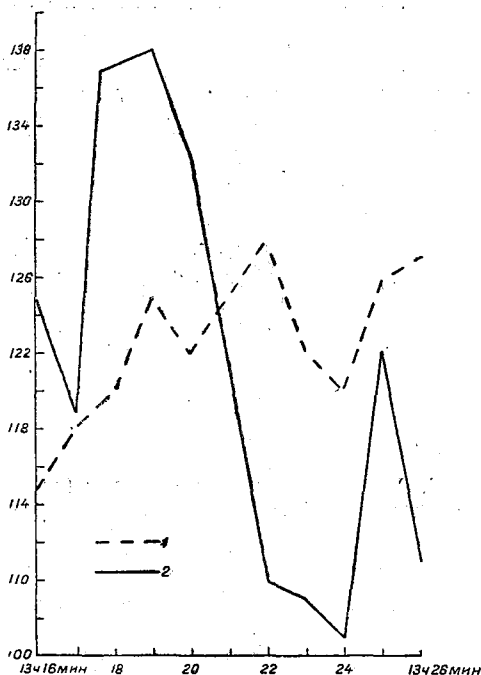


Рис. 5. Ход средних значений абсолютной влажности, определенных по психрометрическим термометрам сопротивления и термометром сопротивления. 1 — по психрометрическому термометру, 2 — по термометрам сопротивления.

На рис. 4 и 5 нанесены осредненные за минуту (ввиду невозможности обработать через 20 сек. записи на ленте гальванографа) величины относительной и абсолютной влажности воздуха, определенные по психрометру сопротивления и по стационарному психрометру.

На графиках показаны микроколебания влажности воздуха днем при порывистом западном ветре (3 м/сек.) и переменной облачности, т. е. при значительных изменениях интенсивности прямой солнечной радиации. Приведенные данные представляют наиболее резко выраженные колебания влажности воздуха, происходящие при сравнительно небольших изменениях температуры (0,2—0,3°). В этих условиях показания смоченного термометра сопротивления меняются в больших пределах (0,6—0,9°). Амплитуда колебаний относительной влажности воздуха в дневные часы по показаниям психрометра сопротивления может достигать 9%, а по стационарному психрометру — только 3% в минуту.

Для абсолютной влажности амплитуда колебаний по психрометру сопротивления может достигать за минуту 1,8 мб, а по стационарному психрометру — всего лишь 0,6 мб.

В ночное время ход температуры по смоченному и сухому термометрам сопротивления более согласован и разница показаний влажности воздуха, найденная по психрометру сопротивления и стационарному психрометру, незначительна (порядка 1—2%).

Характер записи по сухому и смоченному термометрам сопротивления в дневное и ночное время для приведенных выше случаев показан на рис. 6.

Такие же результаты получились и при исследовании микроколебаний влажности воздуха в той же будке, при значительной переменной облачности, которое производилось с помощью термометра сопротивления и термопары, один спай которой был повязан батистом и постоянно смачивался. В этом случае амплитуда колебаний относительной влажности воздуха также достигала 9—10%, а абсолютной влажности — 1,2—1,4 мб.

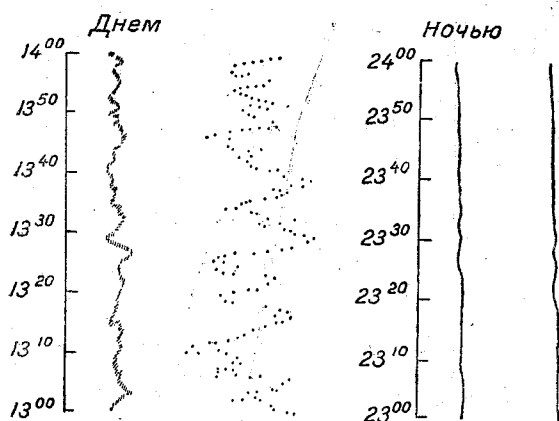


Рис. 6. Ход температуры по сухому (слева) и смоченному (справа) термометрам сопротивления.

Микроколебания влажности воздуха в пасмурную с порывистым ветром погоду по стационарному психрометру и психрометру сопротивления приведены в табл. 8.

Как видно из таблицы, микроколебания относительной влажности воздуха в пасмурную погоду с порывистым ветром по психрометру сопротивления за минуту достигали 5%, а по стационарному психрометру — 1%, т. е. в пасмурную погоду колебания относительной влажности воздуха уменьшены.

Амплитуда колебаний абсолютной влажности воздуха по психрометру сопротивления достигала 0,8 мб, а по стационарному психрометру — 0,4 мб в минуту.

Таблица 8

Значения относительной и абсолютной влажности воздуха через минуту по стационарному психрометру и психрометру сопротивления (за 24/VI 1950 г.)

Время наблюдений	Стационарный психрометр		Психрометр сопротивления	
	абс. влажность	отн. влажность	абс. влажность	отн. влажность
14 ч. 32 м.	16,7	72	16,7	72
14 33	16,4	71	17,2	77
14 34	16,5	71	17,5	79
14 35	16,8	72	17,7	80
14 36	17,0	72	18,5	84
14 37	17,4	72	18,6	82

Примечание. Обл. 9/2, ветер западный, 3 м/сек., порывистый.

В табл. 9 приведены микроколебания влажности воздуха при совершенно безоблачном небе, ярком солнце и ветре северо-восточного направления в 1 м/сек.

Как видно из табл. 9, для этих условий амплитуда колебаний относительной влажности по психрометру сопротивления может достигать 6%, а по стационарному психрометру 1% за минуту.

Амплитуда колебаний абсолютной влажности воздуха по психрометру сопротивления может достигать 0,8 мб в минуту, а по стационарному психрометру — всего лишь 0,2 мб.

Таблица 9

Значения относительной и абсолютной влажности воздуха через минуту по стационарному психрометру и психрометру сопротивления (за 30/VI 1950 г.)

Время наблюдения	Стационарный психрометр		Психрометр сопротивления	
	абс. влажность	отн. влажность	абс. влажность	отн. влажность
11 ч. 03 м.	15,3	56	15,3	56
11 04	15,4	57	16,1	62
11 05	15,5	58	16,3	63
11 06	15,5	58	16,1	62
11 07	15,7	59	16,0	61
11 08	15,5	58	16,2	62

Примечание. Обл. 0/0, ветер северо-восточный, 1—2 м/сек.

Исходя из изложенного, можно сделать вывод, что, несмотря на значительные микроколебания влажности воздуха, их влияние при наблюдениях по стандартным психрометрическим термометрам на величины определяемой влажности находится в пределах погрешности существующего метода наблюдения.

Выводы

В результате работ, проведенных в 1949 и 1950 гг., можно сделать следующие выводы:

1. Средняя погрешность метода измерения температуры воздуха равна 0,2°.

Погрешность единичного измерения температуры воздуха в срок наблюдений психрометрическим термометром в будке, при условии не меняющейся облачности, достигает 0,5°. В пасмурную погоду указанная погрешность уменьшается до 0,3°. При переменной облачности погрешность метода может увеличиваться до 1°.

2. Средняя погрешность метода измерения влажности воздуха стационарным психрометром равна 1% — для относительной и 0,2 мб — для абсолютной влажности воздуха при всех условиях погоды.

3. Отдельные неисправности психрометрической будки (плохая окраска, повреждение крыши, отсутствие отдельных наружных планок жалюзи), а также различие в расположении будок в пределах метплощадки и неоднородность подстилающих поверхностей под будками не увеличивают погрешность метода измерения температуры и влажность воздуха психрометрическими термометрами.

4. Указанные погрешности, установленные на метстанции ГГО, могут быть распространены и на другие пункты со сходными климатическими условиями и рельефом.

ЛИТЕРАТУРА

- Гольцман М. И. О степени точности измерений при обычных методах метнаблюдений. Мет. вестник, № 5—6, 1935.
 Тихомиров Е. И. Репрезентативность метеорологических наблюдений и возможная степень их точности. Там же.
 Попов В. И. Об определении температуры и влажности воздуха. Геофизич. сб., т. III, вып. 3, 1916.
 Гольцман М. И. и др. О степени точности определения температуры и влажности воздуха в естественных условиях. Метеорология и гидрология, № 4, 1936.

ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРИКЛАДНОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ И КЛИМАТОЛОГИИ

В связи с широким изучением турбулентного обмена в приземном слое воздуха приобретает большое значение постановка наблюдений над градиентами температуры воздуха.

Изучение градиентов температуры в приземном слое воздуха имеет также большое практическое значение и для ряда разделов прикладной метеорологии и климатологии. Известно, что современная климатология основывается прежде всего на изучении естественного комплекса, охватывающего все тепловые процессы, происходящие в приземном слое воздуха. Таким комплексом является тепловой и водный баланс деятельной поверхности.

Вертикальный градиент температуры в уравнении теплового баланса, как известно, выражается следующим уравнением:

$$\frac{\partial t}{\partial z} = \frac{S + B + V}{C_p A},$$

где $\frac{\partial t}{\partial z}$ — вертикальный градиент температуры; S — радиационный баланс; B — теплообмен с почвой; V — тепло, идущее на испарение и конденсацию; A — коэффициент обмена; C_p — теплоемкость воздуха при постоянном давлении.

Из уравнения следует, что вертикальный градиент температуры по своему физическому смыслу является элементом, характеризующим весь комплекс величин теплового баланса, определенным образом взаимодействующих между собой, т. е. характеризует физическое состояние приземного слоя в данной точке.

При наблюдении одновременно с другими метеорологическими элементами, и прежде всего со скоростью ветра, градиент температуры позволяет определить имеющую первостепенное значение в вопросах сельскохозяйственной практики, расчета испарения и т. д. величину теплообмена между деятельной поверхностью и прилегающим к ней слоем воздуха.

Благодаря этому измерение градиента температуры становится в порядок дня при проведении не только специальных, но и сетевых метеорологических наблюдений.

Совершенно очевидно, что при организации таких наблюдений встанет вопрос о выборе метода наблюдения над градиентом температуры и о требуемой точности измерения этого элемента для целей прикладной метеорологии и особенно для изучения микроклимата. В отличие от постановки специальных наблюдений, связанных с изучением физики приземного слоя воздуха, которые проводятся в большом объеме, с большей точностью и требуют сложной измерительной аппаратуры, наблюдения над градиентами температуры для целей прикладной метеорологии и климатологии, проводимые в широком масштабе, могут ограничиться более простыми приборами и несложной методикой.

Как известно, для вычисления коэффициента обмена и определения параметра, характеризующего степень вертикальной устойчивости атмосферы, в прикладной метеорологии и климатологии пользуются измерением градиента температуры в слое воздуха 20—150 см и измерением скорости ветра на одной высоте (обычно на высоте 1 или 2 м). Определенной методики измерения градиента температуры в слое 20—150 см до настоящего времени не существует, поэтому градиент определяется в разных условиях по-разному, для чего используются подчас совершенно не сравнимые между собой приборы. Для постановки же измерений градиентов температуры в широком, сетевом, масштабе допустимы только такие методы, которые могут дать сравнимые между собой результаты, будут общедоступны для пользования, не потребуют значительного переоснащения сети и дадут достаточную степень точности для практических целей.

Методика наблюдений над градиентом температуры в приземном слое воздуха

Измерение градиентов температуры для целей прикладной метеорологии и климатологии производится обычно с помощью:

- 1) одного или двух аспирационных психрометров, расположенных в горизонтальном или несколько наклонном положении. (В случае применения одного психрометра отсчеты производятся последовательно: низ — верх — низ);
- 2) ртутных термометров (различных систем), расположенных в горизонтальном положении и экранированных от прямой солнечной радиации;
- 3) применения одного пращпсихрометра или пращтермометра;
- 4) применения термопар различных систем;
- 5) применения различных систем термометров сопротивления.

Поскольку указанные приборы различны по своим физическим характеристикам и располагаются на двух разных высотах (20 и 150 см), радиационная ошибка, оказывающая влияние на каждый из них, будет неодинакова и показания каждого из приборов будут различными. Для измерения градиента температуры, повидимому, можно использовать только те приборы, на которые меньше оказывает влияние величина радиационной ошибки и которые, вместе с тем, дают достаточную точность измерения.

Для выбора простого и общедоступного метода измерения градиента температуры в приземном слое воздуха в различные периоды года (с июня 1949 по август 1950 г.) на полевой базе ГГО в Воейково и на методической площадке Обсерватории в Лесном были проведены измерения основными из перечисленных выше способов.

Измерения проводились одновременно двумя или тремя квалифицированными сотрудниками.

Постановка эксперимента

На специально установленной стойке на высотах 20 и 150 см устанавливались термометры аспирационного психрометра большой модели, градиентомер, смонтированный из термопар, и градиентомер, смонтированный из термометров сопротивления. На тех же высотах подвешивался аспирационный психрометр.

В качестве градиентомера из термопар использовались две термопары из меди и константана, установленные на указанных высотах. Термопары были смонтированы таким образом, что чувствительный гальванометр фиксировал непосредственно величину градиента без отсчета температуры. Термопары, так же как и психрометрические термометры, экранировались только от попадания прямых солнечных лучей. Приемниками термометров сопротивления служила никелевая нить сечением 0,084 мм, длиной 3000 см, намотанная на слюдяную пластинку.

Приемники экранировались сверху и снизу двумя парами жалюзи, изолированными друг от друга воздушной прослойкой. Монтаж мостика сопротивления был таким, что путем переключения вилки позволял измерять градиент температуры и температуру воздуха на какой-либо одной высоте.

Указанный прибор был предварительно апробирован старшим научным сотрудником Л. С. Яковлевой.

Кроме перечисленных выше приборов, при наблюдениях зимой и летом 1950 г. использовались также обычные термографы, устанавливаемые на двух высотах в психрометрических будках. В этих случаях в тех же будках устанавливались психрометрические термометры и термометры сопротивления.

Термопары и термометры сопротивления градуировались перед каждым новым периодом наблюдения.

Измерение градиента с помощью психрометров и працтермометров нами не производились, так как указанный способ в стационарных условиях вследствие неудобства наблюдений мало применим. Этот способ используется в полевых условиях для сравнительно грубых измерений градиента.

Производство наблюдений

Наблюдения над градиентами температуры производились отдельными сериями в периоды: с июля по сентябрь 1949 г., с февраля по апрель и с июня по август 1950 г. Сроки наблюдения не были постоянными. Время между сроками наблюдений колебалось от 15 мин. до 2 час. Серий наблюдений продолжались от несколь-

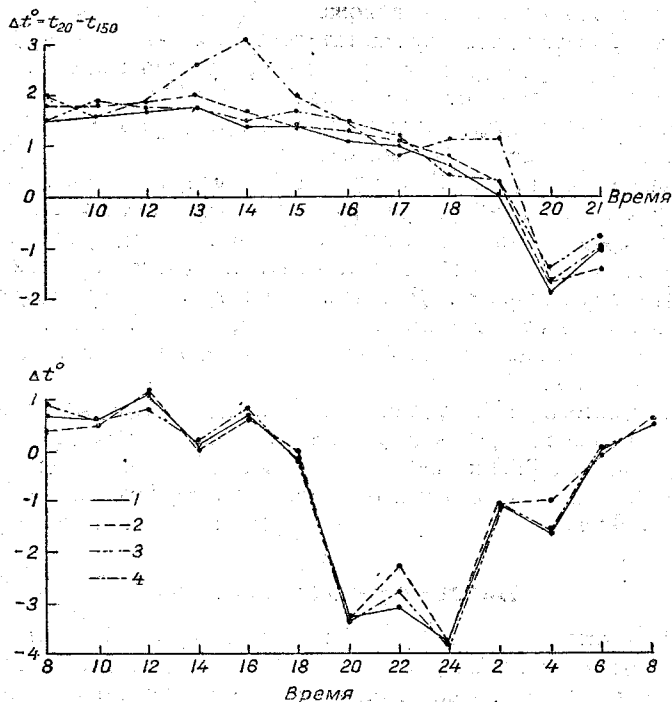


Рис. 1. Градиент температуры в слое 20—150 см, измеренный различными способами 24/VII (вверху) и 13—14/VIII 1949 г. (внизу).

1 — аспирационный психрометр, 2 — психрометрический термометр, 3 — термометр сопротивления, 4 — термопара.

ких часов до суток и более. В каждый срок наблюдения производились отсчеты по аспирационным психрометрам и ртутным термометрам (в начале и конце замера), по термопарам и термометрам сопротивления (6—10 замеров через каждые 5—10 сек.). Продолжительность каждого наблюдения составляла 6—8 мин. При обработке результатов наблюдений отдельные отсчеты осреднялись и выводилось среднее значение элемента за тот или иной срок.

На рис. 1 приведены графики величин градиентов температур, измерившихся одновременно указанными выше способами в июле и августе 1949 г.

Как видно из рисунка, градиенты температуры, определенные с помощью психрометра, термометров сопротивления и психрометрических термометров, оказались достаточно близкими между собой. Значительно отклонялись в дневные часы градиенты, измеренные с помощью термопар.

Если принять за основу градиент измерений по аспирационному психрометру, то отклонения градиентов, измеренных тремя другими способами, приведены ниже в таблице.

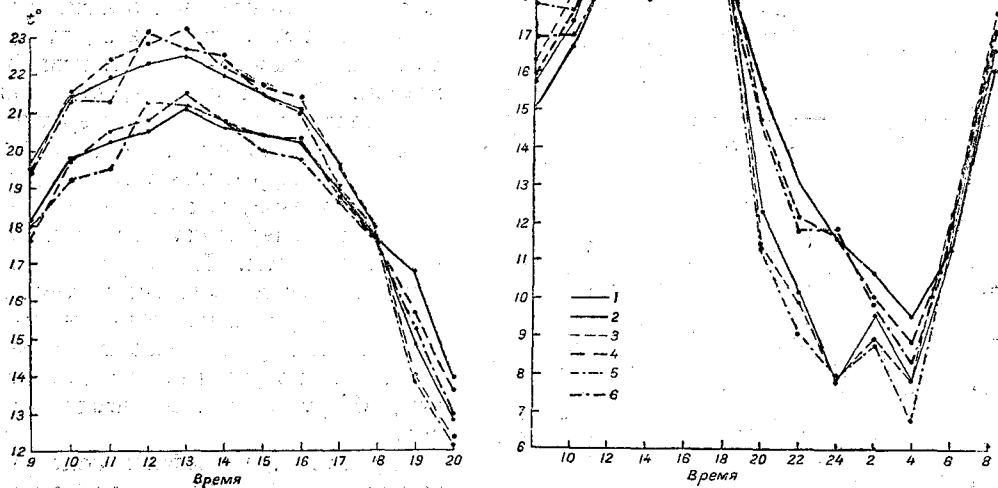


Рис. 2. Распределение температуры воздуха на высоте 20—150 см, измеренной различными термометрами 24/VII (вверху) и 13—14/VIII 1949 г. (внизу).

1 — психрометр на высоте 20 см и 2 — на высоте 150 см, 3 — психрометрический термометр на высоте 20 см и 4 — на высоте 150 см, 5 — термометр сопротивления на высоте 20 см и 6 — на высоте 150 см.

Часы	22—23 июня				13—14 августа		
	Δt по психрометру	Отклонение от Δt			Δt по психрометру	Отклонение от Δt	
		по ртутн. терм.	по терм. сопр.	по термопарам		по терм. сопр.	по ртутн. терм.
8	—	—	—	—	0,6	-0,2	+0,3
9	1,5	+0,3	0,0	+0,5	—	—	—
10	1,6	+0,2	-0,3	0,0	0,6	0,0	+0,1
12	1,7	+0,2	+0,1	+0,2	1,1	+0,3	-0,1
13	1,8	+0,2	0,0	+0,8	—	—	—
14	1,4	+0,3	+0,1	+1,7	0,1	-0,1	+0,1
15	1,3	+0,2	+0,3	+0,8	—	—	—
16	1,5	+0,3	+0,1	+0,2	0,7	-0,1	+0,1
18	0,6	+0,2	-0,2	+0,5	-0,2	-0,1	-0,2
20	-1,9	-0,2	-0,2	-0,5	-3,3	0,0	-0,1
22	-0,4	+0,1	+0,1	+0,2	-3,1	-0,5	-0,8
24	-0,3	+0,1	+0,2	+0,2	-3,8	0,0	-0,1
2	-0,4	-0,1	+0,2	0,0	-1,1	0,0	-0,0
4	-0,5	+0,1	-0,3	+0,2	-1,7	-0,1	-0,7
6	—	—	—	—	0,0	0,0	-0,1
8	—	—	—	—	0,5	0,0	-0,1

Как видно из таблицы, наилучшие результаты измерений дают аспирационные психрометры и термометры сопротивления. Вполне удовлетворительные результаты дают также защищенные от попадания солнечных лучей ртутные термометры.

Следует отметить, что температура воздуха на каждой высоте, регистрируемая тремя указанными выше способами, при почти одинаковых значениях градиентов может отличаться между собой до 1° и более.

На рис. 2 приведены измерения температур воздуха на высотах 20 и 150 см для указанных выше значений градиентов температуры.

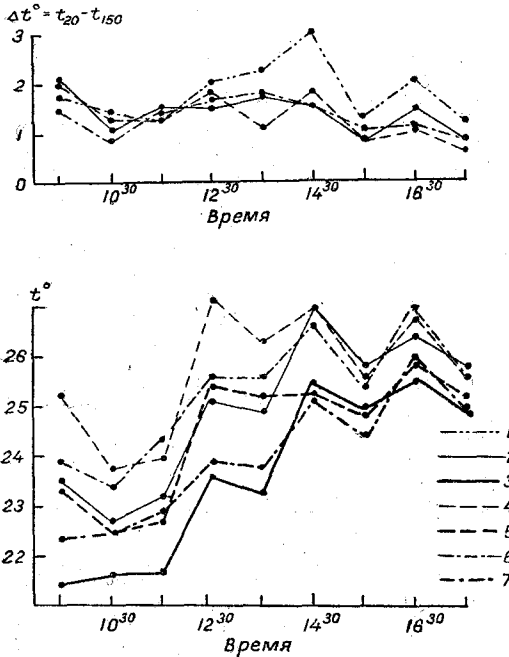


Рис. 3. Градиент температуры воздуха в слое 20—150 см (вверху) и температура воздуха на высотах 20—150 см, измеренные различными термометрами без затенения их от солнечных лучей 13/VII 1949 г.

1 — термопара, 2 — аспирационный психрометр на высоте 20 см и 3 — на высоте 150 см, 4 — психрометрический термометр на высоте 20 см и 5 — на высоте 150 см, 6 — термометр сопротивления на высоте 20 см и 7 — на высоте 150 см.

Как видно из этого рисунка, несмотря на то, что разности между абсолютными значениями температур воздуха, полученные по каждому прибору, значительно увеличились по сравнению с разностями, полученными при затененных приборах, градиенты температур остались близкими между собой.

Эти же данные позволяют сделать заключения о том, что при полевых измерениях градиента для некоторых оперативных целей можно получить с достаточной степенью точности значения градиента по ртутным термометрам, совершенно не затененным от солнечных лучей.

Более того, при экранировании термометров случайное попадание на какой-либо из термометров луча солнца может исказить величину градиента. Поэтому для оперативных целей при определении градиента ртутными термометрами нужно строго следить, чтобы каждый из них был либо хорошо экранирован, либо чтобы оба термометра были открыты.

Из графика рис. 2 видно, что ртутные термометры в дневные часы на обеих высотах дают завышенные, а в ночные часы заниженные значения температуры воздуха по сравнению с аспирационным психрометром. Отсюда следует, что при проведении каких-либо температурных съемок нельзя проводить измерение одновременно теми и другими приборами, так как могут получиться совершенно не сравнимые результаты. В то же время для измерений градиентов температуры могут использоваться как тот, так и другой способы, и результаты, полученные каждым из них, будут сравнимы между собой.

Приведенные графики подтверждают также, что радиационная ошибка, величина которой различна для каждого прибора, на высотах 20 и 150 см будет почти одинаковой для данного термометра и при вычислении градиента не будет сказываться на его величине.

Для подтверждения этого положения нами были проведены градиентные измерения с совершенно не затененными приборами при ясном небе и переменной облачности.

Результаты измерений приведены на рис. 3.

Применение самописцев для измерения градиентов

Исходя из того, что при определении градиента температуры на высотах 20 и 150 см каким-либо одним способом радиационная ошибка мало сказывается, и принимая во внимание, что на гидротресте имеется значительное количество термографов, нами была сделана попытка определения градиентов с их помощью.

Так как термографы имеют большую массу, различную окраску, различные характеристики приемников и т. д., отчего радиационная ошибка для каждого из приборов может получиться различной, термографы на обеих высотах помещались

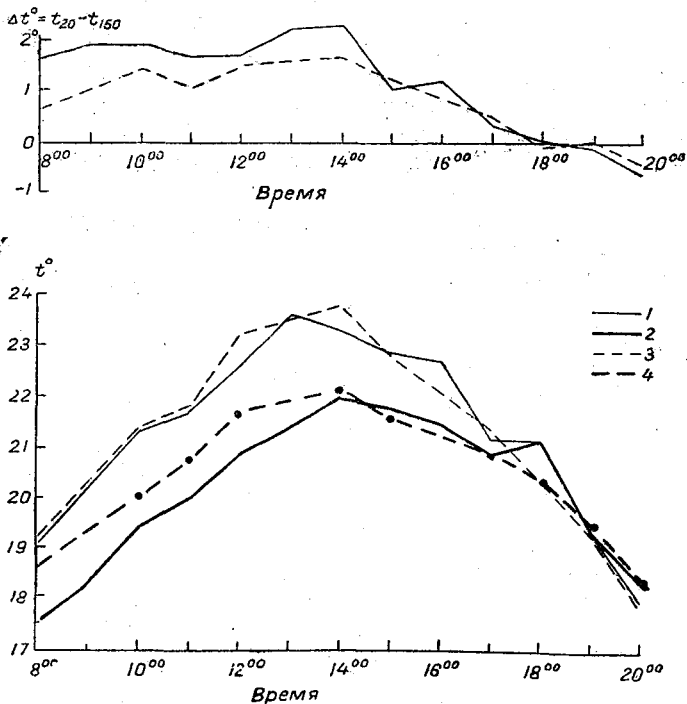


Рис. 4. Градиент температуры в слое 20—150 см и температура воздуха на высотах 20 и 150 см, измеренные психрометрическим термометром и термографом, установленными в психрометрических будках 18/VI 1949 г.

1 — психрометрический термометр на высоте 20 см и 2 — на высоте 150 см, 3 — термограф на высоте 20 см и 4 — на высоте 150 см.

психрометрические будки. Опыты определения градиентов по термографам были проведены в конце зимы и летом 1950 г.

Одновременно с термографом в будку ставился психрометрический термометр и термометр сопротивления. В отдельных случаях с помощью аспирационного психрометра определялся градиент температуры воздуха вне психрометрической будки.

На рис. 4 приведены графики хода градиентов температуры, наблюдаемого по термографу и ртутному термометру 18/VI 1950 г.

Как видно из рисунка, ход градиентов остается согласованным, однако абсолютные значения их могут значительно отличаться между собой. В некоторых случаях расхождение между этими значениями, вследствие больших погрешностей измерения и небольших точностей показаний термографа, достигали одного, а иногда и двух градусов.

Следует отметить, что разность между значениями градиентов, измеренных термографом и термометрами, будет зависеть также от числа контрольных засечек на ленте самописца: с увеличением числа засечек эта разность будет уменьшаться. Из приведенных выше графиков и анализа полученных при работе материалов было установлено, что регистрация градиента температуры с помощью термографов не может обеспечить требуемой точности измерения этого элемента, а позволяет судить лишь о суточном ходе градиента температуры в данной точке.

Выводы

1. Для измерения градиентов температуры для целей прикладной метеорологии и климатологии с достаточной точностью могут быть применены не только электрические, но и существующие ртутные термометры.

2. Ртутные термометры могут применяться как в аспирационном психрометре, так и самостоятельно; в последнем случае термометры должны быть защищены от попадания прямых солнечных лучей.

3. Термографы для измерения градиентов мало пригодны, но могут быть использованы для записи их суточного хода.

Значения величин градиентов, снятые по термографу, будут наиболее близки к значениям градиентов, определенных по ртутным термометрам в сроки, близкие к моментам контрольных засечек.

ПОГРЕШНОСТИ ПОПРАВОК АНЕРОИДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА СЕТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Широкое использование анероида для измерения атмосферного давления объясняется его портативностью и простотой наблюдения с помощью него.

Параллельно со старой, давно известной конструкцией, в последние годы начали выпускаться анероиды новой конструкции, которая отличается от первой как приемником, так и передаточной системой.

В старой конструкции приемником служит одна вакуумная коробка, соединенная с наружной пружиной; в новой — приемником является комплект вакуумных коробок без каких-либо пружин. Передаточная же система в новой конструкции значительно упрощена по сравнению со старой и представляет собой ось с двумя закрепленными на ней рычагами: один рычаг соединен с работающим приемником, другой — с цепочкой, которая при ходе коробок наматывается или разматывается на ось стрелки.

Метод поверки анероидов с наружной пружиной разработан давно и заключается в соблюдении специальных условий, при которых определяются три рода поправок: 1) температурная, 2) шкаловые и 3) добавочная.

Для выявления возможности внести изменения в установленный метод поверки анероидов с наружной пружиной и разработки метода поверки беспружинных анероидов в 1950 г. ГГО проведена экспериментальная работа.

Для этой работы были взяты 15 анероидов с наружной пружиной и 8 беспружинных.

Из 15 анероидов с наружной пружиной 13 приборов, выпущенные в разное время с 1939 по 1946 г., были одного вида, а два прибора, выпущенные Московским заводом гидрометприборов в 1948 г., отличались от остальных формой вакуумных коробок. У этих приборов края одной половинки коробки не входят внутрь другой, но у обеих половинок они оттянуты, припаяны и образуют плоский кольцевой выступ на коробке. Беспружинные анероиды были выпущены Рижским заводом гидрометприборов в 1948 и 1949 гг.

На основании ряда полученных поправок следовало установить постоянство этих поправок во времени, погрешности их и возможность частичного сокращения цикла поверки.

В дальнейшем рассмотрим полученные результаты по каждому роду поправок в отдельности.

Температурная поправка

Определение температурной поправки на 1° производится экспериментально при атмосферном давлении и перепаде температур от 0 до $+30^\circ$.

За время с февраля по сентябрь эта поправка была определена 9 раз.

В табл. 1 приводятся средние температурные поправки анероидов с наружной пружиной и беспружинных и средние квадратичные погрешности „ σ “ отдельных поправок.

Из табл. 1 видно, что наибольшая средняя квадратичная погрешность температурной поправки анероидов с наружной пружиной равна $\pm 0,03$ мм, в среднем же она равна $\pm 0,01$ мм. Средняя квадратичная погрешность температурной поправки беспружинных анероидов в среднем равна $\pm 0,03$ мм.

Таблица 1

Средние температурные поправки и их средние квадратичные погрешности

№ приборов	Анероиды с наружной пружиной		Беспружинные анероиды	
	средние температурные поправки	$\pm \sigma$	средние температурные поправки	$\pm \sigma$
1	+0,04	0,03	-0,06	0,02
2	-0,06	0,01	+0,02	0,05
3	-0,01	0,01	-0,04	0,03
4	-0,04	0,01	0,00	0,02
5	+0,06	0,01	+0,01	0,03
6	0,00	0,01	-0,01	0,02
7	+0,21	0,02	+0,06	0,03
8	-0,04	0,01	+0,05	0,02
9	-0,02	0,02	—	—
10	-0,05	0,01	—	—
11	-0,03	0,01	—	—
12	-0,03	0,01	—	—
13	+0,03	0,01	—	—
14	-0,09	0,02	—	—
15	-0,15	0,01	—	—

Колебания величины температурной поправки беспружинных анероидов происходят в довольно больших пределах. Так, например, температурная поправка самого неустойчивого прибора № 2 имела следующие последовательные значения: +0,03; -0,06; +0,01; +0,04; +0,09; +0,03; +0,05; +0,07; +0,03. Если принять во внимание температурные поправки этого анероида за 1949 г., то прибавится еще следующий ряд: -0,11; -0,01; +0,03; +0,05; +0,02.

У других экземпляров колебания температурной поправки были значительно меньше, но в двух случаях из девяти (число определений температурной поправки в 1950 г.) превышают допуск $\pm 0,03$ мм, установленный на изменение температурной поправки при повторной поверке.

Надо отметить, что за последние 3—4 месяца наблюдений колебания температурной поправки уменьшились и некоторые из них оставались почти без изменения (№ 1, 4, 5, 6, 7, 8).

Шкаловые поправки

Шкаловые поправки анероида являются его инструментальными поправками к показаниям на каждом десятке миллиметров шкалы.

У анероидов с наружной пружиной поправки, полученные при ходе на понижение давления, не совпадают с поправками при ходе на повышение его, и построенные кривые образуют петлю. Наибольшее расхождение кривых поправок вследствие гистерезиса приходится примерно на середину шкалы, т. е. около точки 700 мм, и доходит у отдельных экземпляров до 8 мм и больше.

Для определения влияния на величину поправок и гистерезис самой операции поверки по шкале анероиды были разбиты на две группы, из которых первая поверялась по шкале каждые две недели, вторая — через каждый месяц. Таким образом,

звая группа была за время испытаний с февраля по сентябрь проверена по шкале 2 раз, вторая — 6 раз.

В результате проведенной работы выяснилось, что при повторных поверках расхождение поправок вследствие гистерезиса на точке 700 мм сократилось у разных экземпляров на 0,0—2,4 мм. У двух анероидов выпуска 1948 г. расхождение поправок на точке 700 мм, равное вначале 1,3 и 1,1 мм, сократилось до 0,5 мм.

Шкаловые поправки для пользования при наблюдениях являются средними из двух поправок на одинаковых точках, полученных при ходе давления на понижение и повышение. За время эксперимента у пяти приборов из пятнадцати шкаловые поправки изменялись в одном направлении, характеризующем общее увеличение чувствительности. На крайней точке это увеличение было от 0,6 до 2,4 мм. Остальных десяти приборов изменение шкаловых поправок не сопровождалось изменением чувствительности.

Ряд шкаловых поправок, полученных при повторных поправках на одинаковых давлениях, дал возможность определить среднюю квадратичную погрешность поправок каждого испытуемого анероида.

Из анализа полученных погрешностей шкаловых поправок видно, что величиной погрешности одного порядка как при шестикратной, так и при двенадцатикратной поверке.

В табл. 2 приводятся средние квадратичные погрешности шкаловых поправок на разных точках шкалы в среднем для всех испытуемых анероидов с наружной пружиной.

Из табл. 2 видно, что σ больше к концам шкалы и особенно на низких давлениях. В средней части шкалы σ равна $\pm 0,3$, к концам она не больше $\pm 0,5$ мм. Поправки двух анероидов выпуска 1948 г., в отличие от остальных, имели параллельный ход при изменении давления на понижение и на повышение. Поэтому шкаловые поправки для них были выведены как по средним величинам, так и по данным при ходе на понижение давления.

Таблица 2

Средние квадратичные погрешности шкаловых поправок анероидов с наружной пружиной

Давление, мм	$\pm \sigma$	Давление, мм	$\pm \sigma$
790	0,4	690	0,3
780	0,3	680	0,3
770	0,2	670	0,3
760	0,0	660	0,4
750	0,1	650	0,4
740	0,1	640	0,4
730	0,2	630	0,4
720	0,2	620	0,4
710	0,2	610	0,5
700	0,3	600	0,5

Таблица 3

Средние квадратичные погрешности шкаловых поправок беспружинных анероидов

Давление, мм	$\pm \sigma$	Давление, мм	$\pm \sigma$
790	0,1	690	0,2
780	0,1	680	0,2
770	0,1	670	0,2
760	0,0	660	0,2
750	0,1	650	0,3
740	0,1	640	0,3
730	0,1	630	0,3
720	0,1	620	0,3
710	0,2	610	0,4
700	0,2	600	0,4

Почти полное совпадение поправок (расхождение на отдельных точках не больше 0,2 мм) позволяет утверждать, что поверку по шкале анероидов такого рода можно проводить в одном направлении понижения давления.

Беспружинные анероиды отличаются малым гистерезисом, однако поверка производилась при ходе давления и на понижение и на повышение и шкаловые поправки были выведены по средним величинам.

Четыре анероида из восьми испытуемых поверялись по шкале и в 1949 г., поэтому всех проверок этих анероидов за 1949 и 1950 гг. было проведено 17, а остальных четырех — только 9.

По ряду шкаловых поправок, полученных при повторных поверках, были вычислены средние квадратичные погрешности поправок на всех точках шкалы; и оказалось, что величина этих погрешностей, как и у анероидов с наружной пружиной, одного порядка, независимо от частоты проверок.

В табл. 3 приводятся средние квадратичные погрешности шкаловых поправок в среднем для всех восьми беспружинных анероидов.

Как видим, эти погрешности к концам шкалы больше ($\pm 0,4$ мм), чем в средней части ($\pm 0,2$ мм), но меньше соответствующих погрешностей пружинных анероидов.

Относительная устойчивость шкаловых поправок является следствием отсутствия гистерезиса. Расхождение кривых поправок на отдельных точках при разных ходах давления можно объяснить случайными погрешностями отсчета по анероиду и манометру. Эта особенность беспружинных анероидов служит основанием для сокращения цикла поверки по шкале, ограничивая ее определением поправок только при изменении давления на понижение.

Добавочная поправка

Добавочная поправка является инструментальной поправкой, общей для всех точек шкалы.

По установленному методу эта поправка определяется при атмосферном давлении в течение пятидневки, спустя неделю после поверки по шкале.

Добавочная поправка и нами определялась в таком же порядке, но отсчеты для вывода добавочной поправки производились ежедневно, начиная с первого дня после поверки по шкале, чтобы проследить за показаниями анероидов без перерыва.

Кроме того, непосредственно после поверки по шкале добавочная поправка беспружинных анероидов определялась еще при искусственном изменении давления на следующих пяти точках: 780, 770, 760, 750, 740 мм; после этого давление доводилось в одном случае непосредственно до атмосферного, а в другом — до 790 мм, и, согласно установленному методу, приборы выдерживались при этом давлении в течение 18 часов.

В табл. 4 приводятся средние добавочные поправки и средние квадратичные погрешности добавочных поправок 15 анероидов с наружной пружиной.

В первом ряду приведены добавочные поправки и погрешности, полученные за последовательные пятидневки между двумя поверками по шкале при переходе после прогонки непосредственно к атмосферному давлению, во втором ряду — такие же данные, но при выдержке после поверки по шкале на давлении 790 мм до перехода к атмосферному давлению.

Средние квадратичные погрешности добавочной поправки при определении ее после выдержки на давлении 790 мм для первой группы анероидов колеблются в пределах $\pm 0,1$ — $\pm 0,3$ (исключая № 2) и она равна в среднем $\pm 0,2$ мм; для второй группы — в пределах $\pm 0,1$ — $\pm 0,5$ мм (исключая № 9) и в среднем она равна $\pm 0,3$ мм. Следовательно, более частая поверка по шкале дает более устойчивую добавочную поправку.

Особенно заметна эта устойчивость для двух анероидов выпуска 1948 г. (№ 4 и № 5). Погрешность добавочной поправки этих анероидов $\pm 0,2$ мм при выдержке на давлении 790 мм после поверки по шкале, без выдержки на этом давлении она не больше $\pm 0,3$ мм.

Добавочная поправка беспружинных анероидов изменялась значительно, чем у анероидов с наружной пружиной, и преимущественно в отрицательном направлении, поэтому σ беспружинных анероидов больше σ анероидов с наружной пружиной, что видно из табл. 5.

Таблица 4

Средние добавочные поправки и средние квадратичные погрешности добавочных поправок anerоидов с наружной пружиной

Средн. добавочн. попр.	$\pm\sigma$	Средн. добавочн. попр.	$\pm\sigma$	Средн. добавочн. попр.	$\pm\sigma$	Средн. добавочн. попр.	$\pm\sigma$	Средн. добавочн. попр.	$\pm\sigma$
Первая группа ¹									
№ 1									
-5,0	0,7	-5,1	0,6	-5,1	0,7	—	—	—	—
-4,6	0,2	-4,6	0,3	-4,6	0,1	—	—	—	—
№ 2									
-2,0	2,1	-2,2	1,4	-1,7	0,2	—	—	—	—
-1,9	0,3	-1,9	0,4	-1,9	0,4	—	—	—	—
№ 3									
-1,5	0,3	-1,6	0,3	-1,8	0,1	—	—	—	—
-2,4	0,4	-2,4	0,3	-2,6	0,2	—	—	—	—
№ 4									
+1,0	0,2	+1,0	0,1	+1,0	0,0	—	—	—	—
+1,2	0,1	+1,2	0,1	+1,2	0,1	—	—	—	—
№ 5									
+4,8	0,3	+4,9	0,2	+5,0	0,2	—	—	—	—
+5,0	0,1	+4,9	0,2	+5,0	0,1	—	—	—	—
Вторая группа ²									
№ 6									
-1,8	0,4	-2,0	0,2	-2,1	0,6	-2,1	0,4	-1,9	0,2
-2,7	0,5	-2,7	0,5	-2,9	0,7	-3,2	0,4	-2,9	0,2
№ 7									
-5,4	0,3	-5,5	0,5	-5,2	0,5	-5,3	0,5	-4,9	0,3
-4,6	0,6	-4,9	0,5	-5,1	0,5	-5,1	0,2	-5,0	0,3
№ 8									
-1,0	0,4	-1,2	0,4	-1,3	0,3	-1,3	0,2	-1,3	0,2
-1,3	0,2	-1,3	0,3	-1,3	0,2	-1,6	0,1	-1,6	0,1

¹ Проверялись по шкале каждые 2 недели.² Проверялись по шкале каждый месяц.

Средн. добавочн. попр.	$\pm\sigma$	Средн. добавочн. попр.	$\pm\sigma$	Средн. добавочн. попр.	$\pm\sigma$	Средн. добавочн. попр.	$\pm\sigma$	Средн. добавочн. попр.	$\pm\sigma$
------------------------------	-------------	------------------------------	-------------	------------------------------	-------------	------------------------------	-------------	------------------------------	-------------

№ 9

-0,1	1,1	+0,1	0,6	-0,3	0,5	-0,1	0,5	+0,1	0,5
-0,4	0,4	-0,3	0,5	0,0	0,3	-0,6	0,2	-0,5	0,1

№ 10

-0,5	0,4	-0,9	0,5	-1,1	0,1	-1,0	0,2	-1,0	0,0
-1,1	0,3	-1,1	0,2	-0,9	0,1	-1,2	0,2	-1,1	0,3

№ 11

-0,5	0,4	-0,6	0,4	-0,8	0,2	-0,7	0,1	-0,8	0,0
-1,0	0,3	-0,9	0,3	-0,9	0,2	-1,1	0,1	-1,0	0,0

№ 12

-1,5	0,3	-1,7	0,2	-1,8	0,2	-1,7	0,2	-1,6	0,4
-2,1	0,2	-2,0	0,1	-2,0	0,0	-2,1	0,2	-2,1	0,2

№ 13

-3,6	0,3	-3,7	0,5	-3,8	0,4	-4,0	0,3	-3,7	0,1
-4,2	0,3	-4,1	0,5	-4,0	0,3	-4,4	0,5	-4,2	0,3

№ 14

-1,0	0,3	-1,2	0,1	-1,0	0,3	-1,2	0,3	-0,9	0,1
-1,7	0,5	-1,5	0,5	-1,5	0,3	-2,1	0,3	-1,7	0,2

№ 15

+1,4	0,5	+1,2	0,7	+0,8	0,3	+0,9	0,3	+0,9	0,2
+0,6	0,5	+0,8	0,5	+0,8	0,2	+0,6	0,2	+0,6	0,1

Примечание. Поправки для каждого анероида даны в следующем порядке: в первой строке — поправки без выдержки на 790 мм, во второй — с выдержкой на 790 мм.

Большие изменения добавочной поправки и, главным образом, в одном направлении свидетельствуют о непостоянстве поправок во времени. Поэтому средние добавочные поправки и их средние квадратичные погрешности следует считать условными.

Из приведенных погрешностей добавочных поправок видно, что после предварительной выдержки на давлении 790 мм после поверки по шкале получают более устойчивые результаты; в этом случае σ колеблется в пределах $\pm 0,1$ — $\pm 0,5$ мм — при частых поверках (первая группа) и в пределах $\pm 0,2$ — $\pm 0,8$ мм — при уменьшении числа прогонок вдвое (вторая группа). Без выдержки на давлении 790 мм σ первой группы находится в пределах $\pm 0,3$ — $\pm 0,9$ мм, второй группой — в пределах $\pm 0,5$ — $\pm 1,4$ мм.

Таблица 5

Средние добавочные поправки и средние квадратичные погрешности добавочных поправок беспружинных анероидов

Средн. добавочн. погр.	$\pm\sigma$	Средн. добавочн. погр.	$\pm\sigma$	Средн. добавочн. погр.	$\pm\sigma$	Средн. добавочн. погр.	$\pm\sigma$	Средн. добавочн. погр.	$\pm\sigma$
------------------------	-------------	------------------------	-------------	------------------------	-------------	------------------------	-------------	------------------------	-------------

Первая группа

№ 1

-1,8	0,3	-1,8	0,3	-1,8	0,5	—	—	—	—
-2,4	0,2	-2,5	0,2	-2,4	0,3	—	—	—	—

№ 2

-3,8	0,9	-3,8	0,9	-3,8	0,9	—	—	—	—
-4,7	0,4	-4,8	0,5	-5,0	0,5	—	—	—	—

№ 3

-1,0	0,5	-1,2	0,6	-1,2	0,8	—	—	—	—
-2,3	0,5	-2,4	0,4	-2,6	0,5	—	—	—	—

№ 4

-3,1	0,5	-3,1	0,5	-3,1	0,7	—	—	—	—
-3,9	0,3	-4,1	0,2	-4,1	0,2	—	—	—	—

Вторая группа

№ 5

-4,7	0,8	-4,7	1,0	-4,5	0,7	-4,6	0,8	-4,6	0,9
-5,7	0,2	-5,7	0,3	-5,6	0,5	-5,8	0,3	-5,8	0,5

№ 6

-6,2	0,7	-6,3	0,7	-6,1	0,5	-6,2	0,5	-6,4	0,7
-7,2	0,2	-7,2	0,3	-7,2	0,6	-7,4	0,7	-7,5	0,7

№ 7

-1,8	1,0	-2,0	1,0	-1,9	0,9	-2,1	1,0	-1,5	0,8
-3,6	0,5	-3,7	0,6	-4,0	0,8	-4,0	0,7	-4,1	0,7

№ 8

-2,6	1,3	-2,8	1,3	-2,7	1,1	-2,8	1,1	-2,6	1,4
-4,8	0,7	-4,9	0,7	-5,2	0,7	-5,3	0,6	-5,0	0,6

Примечание. Поправки для каждого анероида даны в следующем порядке: в первой строке — поправки без выдержки на 790 мм, во второй — с выдержкой на 790 мм.

Добавочная поправка беспружинных анероидов при искусственном изменении давления

Как указывалось выше, добавочная поправка беспружинных анероидов определялась также при искусственном изменении давления от 780 до 740 мм через 10 мм.

В табл. 6 приводятся добавочные поправки, полученные после каждой поверки на шкале. Таким образом, добавочная поправка четырех анероидов была определена 6 раз и остальных четырех 11 раз.

Таблица 6

Добавочные поправки беспружинных анероидов при искусственном изменении давления

Время	Первая группа				Вторая группа			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
23/III	-2,1	-3,8	-3,5	-1,4	-2,4	-2,7	-6,5	-5,3
8/IV	-2,3	-4,1	-3,6	-1,4				
24/IV	-2,5	-4,9	-9,7	-1,6	-2,7	-4,2	-7,1	-5,5
11/V	-2,4	-4,8	-3,7	-1,8				
22/V	-3,0	-5,5	-4,4	-2,3	-3,4	-4,5	-7,7	-6,3
7/VI	-2,7	-4,5	-4,1	-1,9				
24/VI	-2,8	-5,2	-4,2	-2,4	-3,3	-4,1	-7,4	-5,6
8/VII	-2,4	-5,1	-4,1	-2,4				
22/VII	-3,0	-5,7	-4,5	-2,9	-4,1	-5,1	-7,4	-6,0
10/VIII	-2,7	-4,0	-4,3	-3,0				
31/VIII	-2,8	-4,9	-4,1	-3,3	-4,1	-5,6	-7,5	-5,7
Средняя условная $\pm\sigma$ услов- ной по- правки	-2,6	-4,8	-4,1	-2,1	-3,3	-4,4	-7,3	-5,7
	0,3	0,6	0,4	0,7	0,7	1,0	0,4	0,4

Из табл. 6 видно, что добавочная поправка, полученная как при разных давлениях, так и при атмосферном давлении, непостоянна во времени и меняется главным образом в отрицательном направлении. За 5 месяцев испытаний добавочная поправка изменилась у отдельных экземпляров от 0,9 до 2,9 мм. Поэтому средние значения добавочной поправки и средние квадратичные погрешности поправок в пределах $\pm 0,3$ — $\pm 1,0$ мм следует считать условными.

Для сравнения полученных разными методами добавочных поправок беспружинных анероидов в табл. 7 приводятся: 1) добавочные поправки, полученные за первую и вторую пятидневки после поверки по шкале при атмосферном давлении, 2) при искусственном изменении давления и 3) разности Δ_1 и Δ_2 между искусственной добавочной поправкой и обычными.

Из таблицы видно, что добавочная поправка за вторую пятидневку ближе к полученной в искусственных условиях, чем поправка за первую пятидневку. Δ_2 при выдержке на давлении 790 мм не превосходит 0,5 мм, а в среднем равна 0,3 мм; без выдержки на давлении 790 мм в среднем она равна 0,5 мм.

Погрешности добавочных поправок, полученных при атмосферном давлении и при искусственном изменении давления, одинаковы. Это подтверждает возможность определять добавочную поправку при искусственном изменении давления непосредственно после поверки по шкале. Преимущество данного метода заключается в том, что цикл поверки по сравнению с применяемым в настоящее время сокращается на 12 дней.

Добавочные поправки беспружинных анероидов, полученные в разных условиях, и разности между ними
Первая группа

	№ 1				№ 2				№ 3				№ 4											
	естеств.		искусств.		Δ_1		Δ_2		естеств.		искусств.		Δ_1		Δ_2		естеств.		искусств.		Δ_1		Δ_2	
Без выдержки на 790 мм	-1,8	-1,8	-2,1	0,3	0,3	-3,6	-3,8	0,3	0,2	-3,1	-3,1	-3,5	0,4	0,4	-0,9	-1,0	-1,4	0,5	0,4					
	-1,7	-1,8	-2,3	0,6	0,5	-3,6	-3,7	0,5	0,4	-3,1	-3,2	-3,6	0,5	0,4	-1,1	-1,2	-1,4	0,3	0,2					
	-1,9	-1,6	-2,5	0,6	0,9	-4,2	-3,9	0,7	1,0	-3,2	-3,1	-3,7	0,5	0,6	-1,0	-1,1	-1,6	0,6	0,5					
	-1,8	-1,9	-2,4	0,6	0,5	-4,2	-4,2	0,6	0,6	-3,3	-3,2	-3,7	0,4	0,5	-1,3	-1,3	-1,8	0,5	0,5					
	-2,4	-2,6	-3,0	0,6	0,4	-5,0	-5,4	0,5	0,4	-3,7	-3,9	-4,4	0,7	0,5	-1,8	-2,1	-2,3	0,5	0,2					
	-2,1	-2,2	-2,7	0,6	0,5	-4,3	-4,3	0,2	0,2	-3,6	-3,8	-4,1	0,5	0,3	-1,6	-1,8	-1,9	0,3	0,1					
С выдержкой на 790 мм	-2,4	-2,3	-2,8	0,4	0,5	-4,8	-4,7	0,4	0,5	-3,7	-3,7	-4,2	0,5	0,5	-2,0	-2,1	-2,4	0,4	0,3					
	-2,4	-2,6	-2,4	0,0	0,2	-4,9	-5,2	0,2	0,1	-3,7	-4,3	-4,1	0,4	0,2	-2,3	-2,5	-2,4	0,1	0,1					
	-2,5	-2,5	-3,0	0,5	0,5	-5,2	-5,2	0,5	0,5	-4,2	-4,2	-4,5	0,3	0,3	-2,4	-2,5	-2,9	0,5	0,4					
	-2,5	-2,6	-2,7	0,2	0,4	-4,3	-4,2	0,3	0,2	-4,0	-4,1	-4,3	0,3	0,2	-2,7	-2,7	-3,0	0,3	0,3					
	-2,8	-2,7	-2,8	0,0	0,1	-4,9	-5,1	0,0	0,2	-4,1	-4,2	-4,1	0,0	0,1	-3,0	-3,0	-3,3	0,3	0,3					

Вторая группа

	№ 5				№ 6				№ 7				№ 8											
	естеств.		искусств.		Δ_1		Δ_2		естеств.		искусств.		Δ_1		Δ_2		естеств.		искусств.		Δ_1		Δ_2	
Без выдержки на 790 мм	-1,8	-2,2	-2,4	0,6	0,2	-2,2	-2,2	0,5	0,5	-6,1	-6,3	-6,5	0,4	0,2	-4,6	-4,7	-5,3	0,7	0,5					
	-2,1	-2,1	-2,7	0,6	0,6	-3,3	-3,5	0,9	0,7	-6,3	-6,1	-7,1	0,8	1,0	-5,0	-4,7	-5,5	0,5	0,7					
	-2,8	-3,0	-3,4	0,6	0,4	-4,0	-4,1	0,5	0,4	-7,0	-7,2	-7,7	0,7	0,5	-5,5	-5,7	-6,3	0,8	0,6					
С выдержкой на 790 мм	-3,0	-3,0	-3,3	0,3	0,3	-4,1	-4,2	0,0	0,2	-7,1	-7,0	-7,4	0,3	0,4	-5,4	-5,4	-5,6	0,2	0,2					
	-3,8	-3,9	-4,1	0,3	0,2	-4,9	-5,0	0,2	0,1	-7,1	-7,0	-7,4	0,3	0,4	-5,8	-5,9	-6,0	0,2	0,1					
	-4,0	-4,1	-4,1	0,1	0,0	-5,4	-5,5	0,2	0,1	-7,5	-7,5	-7,5	0,0	0,0	-5,8	-5,7	-5,7	0,1	0,1					

Выводы

1. Точность поправок анероидов при поверке их по методу ГГО характеризуется следующими средними квадратичными погрешностями (в мм).

Вид поправки	Анероид	Величина на поправки (±мм)
Температурная	С наружной пружинной	0,01
	Беспружинный	0,03
	С наружной пружинной: в средней части шкалы к концу шкалы	0,3 0,5
Шкаловая	Выпуска 1948 г.	
	в средней части шкалы к концу шкалы	0,2 0,4
	Беспружинный: в средней части шкалы к концу шкалы	0,2 0,4
Добавочная	С наружной пружинной	0,3
	Выпуска 1948 г.	0,2
	Беспружинный	0,6

Добавочная поправка беспружинного анероида систематически изменяется во времени, поэтому указанная выше величина погрешности действительна только на 5—6 месяцев со дня поверки.

2. Определение шкаловых поправок беспружинных анероидов и анероидов с наружной пружинной Московского завода Гидрометприборов выпуска 1948 г. возможно при изменении давления только в одну сторону (понижения давления).

3. Выдержка анероидов всех трех видов под давлением 790 мм после поверки по шкале необходима, так как она повышает устойчивость добавочной поправки.

4. Добавочную поправку беспружинных анероидов Рижского завода гидрометприборов можно определять при искусственном изменении давления. При этом методе цикл поверки сокращается на 12 дней.

5. Добавочная поправка беспружинных анероидов быстро меняется во времени, поэтому ее необходимо определять вновь через каждые 3 месяца.

6. Наиболее устойчивыми по своим поправкам являются анероиды с наружной пружинной Московского завода гидрометприборов выпуска 1948 г.

ПОГРЕШНОСТИ ПОВЕРКИ АСПИРАЦИОННЫХ ПСИХРОМЕТРОВ

Настоящая работа не имела в виду полного и теоретического решения затронутого вопроса, а ставила перед собой целью получение экспериментальным путем количественной оценки погрешностей, определяющих точность и правильность результатов поверки.

Процесс поверки аспирационных психрометров большой модели состоит из двух операций: поверки скорости аспирации и поверки времени одного оборота барабана. В соответствии с этим нами будут рассматриваться и погрешности.

Краткое описание метода поверки аспирации

По методу, опубликованному в „Руководстве по поверке метеорологических и аэрологических приборов“ [1], аспирация психрометров большой модели определяется у резервуаров термометров, без батиста на смоченном термометре, при помощи двух микронасадок и микроманометра с малым углом наклона. Микронасадки вста-

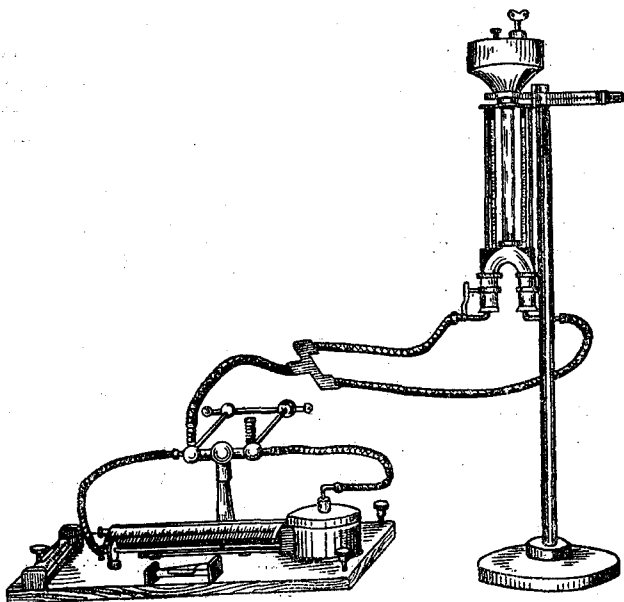


Рис. 1. Схема установки.

вляются на уровне середины резервуаров между термометрами и внутренней защитной трубкой и присоединяются к микроманометру через резиновые трубки и тройник. Схема установки представлена на рис. 1.

Аспирация определяется в течение 6 мин. по отсчетам микроманометра, которые производятся через каждую минуту после полного завода психрометра и пуска вентилятора. Годность прибора устанавливается по соответствию полученной величины аспирации с принятыми для нее нормами: на первой и второй минутах не ниже 2,0 м/сек., на шестой минуте не ниже 1,7 м/сек.

Скорость аспирации вычисляется по формуле:

$$v = k \cdot 0,9 \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}}, \quad (1)$$

где k — коэффициент микронасадки, исключаяющий ее инструментальную погрешность; 0,9 — коэффициент осреднения скорости аспирации, принятый для исключения погрешности от измерения ее в одной точке; $(p_2 - p_1)$ — скоростной напор или разность давлений, измеряемая микроманометром; ρ — плотность воздуха, принимаемая равной при нормальных внешних условиях 0,125 кг. сек²/м⁴.

Погрешности поверки скорости аспирации

Погрешности поверки аспирации будут складываться из погрешностей применяемых для ее измерения приборов (микронасадки и микроманометра), погрешностей метода поверки и погрешностей, обусловленных непостоянством работы механизма психрометра по различным причинам (наличие трения, неполная упругость пружины, предшествующее состояние прибора и пр.).

Разберем влияние указанных погрешностей.

К погрешностям, обусловленным применением микронасадки, относятся: инструментальная погрешность, погрешность в определении коэффициента микронасадки и погрешность, вызываемая неправильной установкой микронасадки.

Инструментальная погрешность исключается введением в формулу (1) коэффициента микронасадки, определяемого из сравнения ее в аэродинамической трубе с образцовой пистолетической трубкой.

Максимальная погрешность в определении коэффициента микронасадки по результатам работ по сравнению микронасадок с пистолетической трубкой в условиях аэродинамической трубы ЦБП может быть принята равной $\pm 0,6\%$ от замеряемой скорости. Данная погрешность войдет в результат поверки как случайная.

Микронасадки при поверке аспирации должны вставляться во внутреннюю защитную трубку между резервуаром термометра и стенкой этой трубки до упора в нижний срез внешней защитной трубки. Неправильно поставленная в вертикальном направлении микронасадка может на различную величину исказить действительное значение аспирации в зависимости от положения микронасадки ниже установленного и близости ее к началу входа воздушного потока во внутренние защитные трубки. Представление об изменении величины аспирации при различном смещении микронасадок по вертикали дает табл. 1.

Рассматривая результаты поверки психрометра № 103756 (табл. 1) при постепенном снижении микронасадок, можно установить два момента наиболее сильного снижения аспирации: 1) при выходе микронасадки за пределы резервуаров термометров ($-0,4$ м/сек.) и 2) при выходе микронасадки за пределы внутренней защитной трубки (также $-0,4$ м/сек.).

При смещении микронасадок в пределах резервуаров термометров аспирация вовсе не менялась. Повидимому, это объясняется одной и той же площадью просвета, через которую протягивается воздушный поток при наличии одного и того же диаметра резервуаров на уровне микронасадок. Следовательно, смещение микронасадки на небольшую величину в пределах резервуаров термометров, при условии сохранения диаметров резервуаров, погрешности не вызовет. Смещение же микронасадки за пределы термометра может вызвать погрешность в измерении аспирации в отдельных случаях до $-0,4$ м/сек.

Следует заметить, что ошибка, вызванная смещением микронасадки по вертикали вниз, на точность определения влажности воздуха не скажется, поскольку приборы выпускаются по установленным допускам и в условиях наблюдений аспирация может быть только большей. Но данная погрешность может привести к отбраковке годных приборов. Поэтому необходимо строго следить за установкой микронасадки по вертикали в соответствии с требованиями метода поверки.

Таблица 1

Величина аспирации у психрометра № 103756 при различном смещении микронасадок вниз по вертикали

Расстояние микронасадок от нижнего среза внутренней защитной трубки, мм	Расстояние микронасадок от конца термометра		Скорость аспирации по минутам, м/сек.					
	правого	левого	1	2	3	4	5	6
+15	+4,0	+4,0	2,60	2,56	2,47	2,34	2,21	2,13
+13	+2,0	+2,0	2,60	2,58	2,51	2,38	2,26	2,16
+10	-1,0	-1,0	2,21	2,16	2,08	2,00	1,86	1,78
+4	-7,0	-7,0	2,00	2,00	1,90	1,84	1,74	1,64
+3	-8,0	-8,0	2,00	1,93	1,86	1,84	1,68	1,60
-1,5	-12,5	-12,5	1,64	1,60	1,53	1,45	1,36	1,28
-3,0	-14,0	-14,0	1,53	1,45	1,36	1,36	1,28	1,17

Примечания. 1. Расстояние от внутренней защитной трубки до правого и левого термометра 11 мм.

2. Длина резервуаров термометров: правого 17,5 мм, левого 15 мм.

3. Диаметр резервуаров: правого 4,1 мм, левого 4,4 мм.

4. + вверх, - вниз.

Смещение микронасадок в горизонтальном направлении, как увидим ниже, погрешностей в измерении аспирации не вызывает.

Погрешности в измерении аспирации, обусловленные применением микроманометра, будут зависеть от: а) инструментальной погрешности микроманометра в связи с неточностью изготовления, б) непостоянства нулевой точки в связи с перемещением уровня спирта в сосуде микроманометра, в) неточности определения плотности спирта и самой величины плотности, г) ошибки отсчета по шкале микроманометра и д) погрешности в установке наклона трубки микроманометра.

Первые две ошибки в практике поверки исключаются градуировкой микроманометра на гидростатических весах.

Относительная максимальная погрешность остальных слагаемых как по отношению к измерению разности давлений, так и по отношению к скорости определена нами применительно к параметрам микроманометра типа Шульца по следующей формуле [2]:

$$\frac{\Delta(p_2 - p_1)}{p_2 - p_1} = \frac{\Delta Y}{Y} + \frac{\Delta(l_1 - l_0)}{l_1 - l_0} + \frac{\Delta \sin \alpha}{\sin \alpha}, \quad (2)$$

где $(p_2 - p_1)$ — разность давлений; Y — плотность спирта, равная $0,8 \text{ г/см}^3$, которым наполняется микроманометр; $(l_1 - l_0)$ — разность отсчетов по шкале микроманометра при наличии и отсутствии давлений; α — угол наклона трубки микроманометра, равный $1^\circ 24'$; $\Delta Y = 0,005 \text{ г/см}^3$; $\Delta(l_1 - l_0) = 0,5$ деления шкалы; точность уровней равняется $1'$ [2].

В табл. 2 вычисленные результаты приведены вместе с приплюсованной погрешностью микронасадок.

Таблица 2

Суммарная максимальная погрешность микроанометра и микронасадки при измерении аспирации психрометров большой модели

Деления микроанометра	Разность давлений, мм вод. ст.	Соответствующая скорость воздушного потока, м/сек.	Максимальная погрешность		Максимальная погрешность для округленного значения скоростей		
			отн., %	абс., м/сек.	скорость, м/сек.	абс., м/сек.	отн., %
1	0,020	0,57	26,53	0,15	1,0	0,10	10,2
5	0,100	1,26	6,53	0,08	1,5	0,08	5,0
10	0,200	1,79	4,03	0,07	2,0	0,07	3,6
20	0,399	2,52	2,78	0,07	2,5	0,07	2,8
50	0,998	3,99	2,03	0,08	3,0	0,07	2,4
—	—	—	—	—	3,5	0,07	2,2

Как видно из табл. 2, максимальная относительная погрешность в измерении скорости аспирации, обусловленная измерительными приборами в пределах установленных для величины аспирации норм (2,0 и 1,7 м/сек.) будет составлять $\sim 4,0\%$, абсолютная погрешность $\sim 0,07$ м/сек.

Погрешности метода поверки

К данным погрешностям мы относим: 1) погрешность в связи с принятием коэффициента осреднения скорости аспирации у резервуаров термометров, равным 0,9, возможную вследствие недостаточного знания распределения скорости вокруг резервуаров термометра, 2) погрешность в связи с недоучетом при поверке изменений внешних условий и 3) погрешность, обусловленную поверкой психрометров без наличия батиста на смоченном термометре.

1. Как известно, скорость воздушного потока по сечению трубы распределяется неравномерно: в центре трубы скорость максимальная, по направлению к стенкам она уменьшается. Поэтому, замеряя скорость в одной точке, необходимо найти способ приближенного вычисления средних скоростей.

Коэффициент осреднения воздушного потока, равный 0,9, был предложен автором принятого метода поверки аспирации М. А. Агапитовым на основании литературных данных по исследованию этого вопроса [3]. Согласно этим данным, на расстоянии 2,5 диаметров от входа в трубу, при числе Рейнольдса, равном 25 000, отношение $v_{cp}/v_{ц}$ меняется в зависимости от расстояния точек в сечении потока в пределах 0,926—0,970. Коэффициент осреднения 0,9 был принят, исходя из того, что в психрометре замер скорости производится на расстоянии 1,5 диаметра от входа, вследствие чего профиль скоростей должен быть более плоским и число Рейнольдса значительно меньше приведенного выше, а уменьшение его влечет медленное уменьшение отношения $v_{cp}/v_{ц}$, асимптотически приближая его к 0,8.

Проверить опытным путем с достаточной степенью достоверности величину этого коэффициента нам не удалось. Однако проведенное ориентировочное исследование сечения воздушного потока у резервуаров термометров показывает, что этот коэффициент, во всяком случае, не меньше, и если допускается погрешность, то с отрицательным знаком, т. е. замеряемая при поверке скорость аспирации несколько занижается. Фактически она может быть больше, что гарантирует нас от ошибок в определении влажности воздуха, так как известно, что увеличение аспирации больше 2,0 м/сек. до известного предела не влияет на психрометрическую постоянную [5].

2. Погрешность в связи с недоучетом изменений внешних условий при поверке. В практике поверки в результаты измерения скорости аспирации не вводится поправка на внешние условия (температура и давление воздуха), изменение которых вызывает изменение плотности как воздуха, так и спирта, входящих в расчетную формулу для определения аспирации.

Порядок величины погрешности виден из табл. 3, в которой данная погрешность определена при различных сочетаниях давления и температуры при скорости 2,0 м/сек.

Таблица 3

Погрешность в величине аспирации от недоучета влияния давления и температуры (скорость аспирации 2,0 м/сек.)

	Давление, мм рт. ст.								
	735			760			780		
	5°	20°	30°	5°	20°	30°	5°	20°	30°
Истинная скорость	2,01	2,05	2,07	1,98	2,01	2,03	1,95	1,98	2,01
Поправка	+0,01	+0,05	+0,07	-0,02	+0,01	+0,03	-0,05	-0,02	+0,01
Погрешность абсолютная	-0,01	-0,05	-0,07	+0,02	-0,01	-0,03	+0,05	+0,02	-0,01
Погрешность относительная, %	-0,5	-2,4	-3,4	+1,0	-0,5	-1,5	+2,6	+1,0	-0,5

Анализируя табл. 3, видим, что максимальная погрешность в указанном интервале температуры и давления может достигать до $-3,4\%$, $+2,6\%$. При нормальной температуре величина относительной погрешности будет в пределах $-2,4$ и $+1,0\%$, абсолютной $-0,05$ и $+0,02$ м/сек.

3. Погрешность, обусловленная проверкой психрометров без батиста на смоченном термометре. В соответствии с принятым методом психрометры проверяются без батиста на смоченном термометре. Для выяснения величины этого рода ошибки у 10 аспирационных психрометров была поверена аспирация последовательно как с обвязкой батистом смоченного термометра, так и без обвязки. На каждой из 6 мин. была вычислена средняя разница в величине аспирации по всем 10 приборам, а также общая средняя разница по всем минутам. Результаты сведены в табл. 4.

Таблица 4

Средняя разница в величине аспирации при поверке психрометров без батиста и с батистом на смоченном термометре

На какой минуте	Средняя разница	$\pm \sigma$
1	-0,08	0,04
2	-0,08	0,03
3	-0,07	0,03
4	-0,07	0,05
5	-0,06	0,04
6	-0,07	0,04
В среднем за 6 мин.	-0,07	0,04

По данным таблицы констатируем, что разница в величине аспирации при поверке психрометров без батиста и с батистом на смоченном термометре — с отрицательным знаком. Это указывает на то, что отсутствие батиста уменьшает скорость аспирации. Значит, проверяя без батиста, мы допускаем систематическую погрешность $\sim -0,1$ м/сек. или относительную в процентах к нормальной величине аспирации (2,0 м/сек.) $\sim -5\%$.

Примечание. Число наблюдений на каждой минуте 10, общее число случаев 60, батист не смачивался.

В соответствии с полученными данными разобранные в п. 2 и 3 погрешности в сумме могут снизить величину аспирации в отдельных случаях на $-0,14$ м/сек., что от нормальной величины аспирации -2 м/сек. составит -7% . Однако, если при выпуске из поверки допускаются указанные погрешности, в действительности

гарантируется бóльшая аспирация. Поэтому, принимая во внимание, что процесс поверки с учетом этих ошибок значительно осложнится, особенно при поверке психрометров с батистом на смоченном термометре, считаем нецелесообразным учитывать на практике эти погрешности.

Погрешности поверки аспирации по экспериментальным данным

Для определения этой погрешности экспериментальные исследования были проведены в двух вариантах: при установке микронасадок, как принято, в середине между резервуарами термометров и внутренними защитными трубками, симметрично справа и слева по отношению к термометрам, и при расположении микронасадок в различных местах по горизонтальному сечению плоскости установки, что имеет место в практике поверки.

В первом варианте опыта было проведено 10 серий поверок 10 новых психрометров выпуска Ленинградского завода „Гидрометприбор“ 1949 г. в соответствии с методом, опубликованным в „Руководстве“ [1]. Каждая отдельная серия состояла в следующем: тщательно проверялась правильность собранной установки, после чего непосредственно один за другим поверялся каждый из 10 психрометров. Все 10 серий наблюдений были проведены в течение трех дней. Чтобы судить об исправности психрометров, до опыта и после опыта было определено у всех приборов время первого оборота барабана. Таким образом, было произведено всего 100 поверок (10 приборов на 10 повторностей).

Из полученных значений скорости аспирации на каждой из шести минут для отдельного прибора вычислялось среднее арифметическое из 10 наблюдений, остаточные погрешности и средние квадратичные отклонения. Из полученных остаточных погрешностей составлялся общий ряд, для которого определялась средняя квадратичная погрешность по формуле [4]:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\varepsilon_p^2}{(k-1)n}}, \quad (3)$$

где ρ — остаточные погрешности, k — число повторностей, n — число приборов.

Результаты сведены в табл. 5. Приведенные в ней данные позволяют судить о точности поверки аспирации. Средняя квадратичная погрешность в каждом частном ряду колеблется по всем минутам в пределах от $\pm 0,01$ до $\pm 0,05$ м/сек., по общему ряду от $\pm 0,03$ до $\pm 0,04$ м/сек.

Так как измерение аспирации производится только один раз, то точность необходимо характеризовать максимальной погрешностью ряда измерений, т. е. тройной средней квадратичной погрешностью (3σ). Следовательно, абсолютная максимальная погрешность поверки по всем минутам будет в пределах от $\pm 0,09$ до $\pm 0,12$ м/сек. Относительная погрешность в процентах к скорости 2,0 м/сек. соответственно составит 4,5—6,0%.

Если сравнить экспериментально полученную максимальную погрешность измерительной установки с подсчитанной нами для микронасадки и микроанометра (табл. 2), то, как и следовало ожидать, она несколько больше (на $1-2\frac{1}{10}$), что следует отнести за счет непостоянства аспирации психрометров.

Во втором варианте опыта, для определения погрешности поверки аспирации при расположении микронасадок в различных местах по горизонтальному сечению одной и той же плоскости установки на уровне середины резервуаров термометров, из другой партии готовых к выпуску новых приборов был взят 51 психрометр. Каждый из них был поверен три раза подряд при трех различных положениях микронасадок в горизонтальной плоскости. Для каждого психрометра вычислена средняя величина аспирации из данных трех поверок, остаточные погрешности, из которых составлен общий ряд и определена средняя квадратичная и максимальная погрешность для всего ряда по формуле (3). Полученные данные сведены в табл. 6.

Таблица 5

Средняя квадратичная погрешность (σ) поверки аспирации по отдельным приборам

№ при- боров	$\pm\sigma$						Средняя скорость, м/сек.		Время 1 оборота барабана, сек.	
	1	2	3	4	5	6	на 1-й мин.	на 6-й мин.	до опыта	после опыта
9715	0,05	0,03	0,03	0,05	0,04	0,05	2,20	1,89	86	86
9693	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	2,55	2,11	80	78
9709	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05	2,32	2,00	82	82
9787	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	2,49	2,09	77	77
9903	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	2,47	2,12	82	81
9884	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	2,32	2,02	81	82
9930	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	2,31	1,92	82	80
9706	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	1,95	1,73	90	90
9888	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	2,42	2,06	81	79
9883	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	2,36	2,01	79	79

Примечание. Для каждого прибора 10 наблюдений.

Таблица 5а

Погрешность поверки аспирации психрометров (по всем приборам)

На какой минуте	Средняя скорость, м/сек.	$\pm\sigma$		$\pm 2\sigma$		$\pm 3\sigma$		Распределение остаточ- ных погрешностей, %		
		абс., м/сек	отн., %	абс., м/сек.	отн., %	абс., м/сек.	отн., %	$\pm\sigma$	$\pm 2\sigma$	$\pm 3\sigma$
1	2,34	0,04	1,7	0,08	3,4	0,12	5,1	82	98	100
2	2,30	0,03	1,3	0,06	2,6	0,09	3,9	77	94	100
3	2,22	0,03	1,3	0,06	2,6	0,09	3,9	81	97	100
4	2,17	0,03	1,4	0,06	2,8	0,09	4,2	77	93	100
5	2,08	0,03	1,4	0,06	2,8	0,09	4,2	82	100	100
6	2,00	0,03	1,5	0,06	3,0	0,09	4,5	75	94	99

Примечание. σ — средняя квадратичная погрешность; 3σ — максимальная погрешность. Для каждой минуты 100 наблюдений.

Таблица 6

Погрешность в измерении аспирации при расположении микронасадок в различных местах по горизонтальному сечению одной и той же плоскости установки

На какой минуте	Средняя скорость, м/сек.	$\pm\sigma$		$\pm 2\sigma$		$\pm 3\sigma$		Распределение остаточ- ных погрешностей, %		
		абс., м/сек.	отн., %	абс., м/сек.	отн., %	абс., м/сек.	отн., %	$\pm\sigma$	$\pm 2\sigma$	$\pm 3\sigma$
1	2,25	0,02	0,9	0,04	1,8	0,06	2,7	84,4	96,8	98,2
2	2,20	0,02	0,9	0,04	1,8	0,06	2,7	89,6	98,2	100,0
3	2,14	0,02	0,9	0,04	1,8	0,06	2,7	90,3	98,7	100,0
4	2,08	0,02	1,0	0,04	2,0	0,06	3,0	92,2	98,2	98,7
5	1,99	0,02	1,0	0,04	2,0	0,06	3,0	86,3	98,7	98,7
6	1,88	0,02	1,1	0,04	2,2	0,06	3,3	90,9	96,8	98,7

Примечание. Для каждой минуты 153 наблюдения.

Сравнивая приведенную максимальную погрешность с полученной при измерении аспирации микронасадками, расположенными на одном и том же месте (табл. 5), видим, что она не превосходит ее по своей величине. Отсюда имеем основание утверждать, что расположение микронасадок в различных местах одной и той же плоскости не сказывается на точности измерения аспирации.

Резюмируя изложенное выше, приходим к заключению, что погрешности проверки аспирации, характеризующие ее точность, а также допускаемые методом систематические погрешности, искажающие правильность результатов проверки, не снижают точности наблюдений по влажности воздуха аспирационным психрометром.

Дефекты сборки и изготовления аспирационных психрометров, влияющие на величину аспирации

В заключение первого раздела считаем нужным остановиться на тех дефектах приборов, которые хотя и не влияют на правильность проверки, но, снижая величину аспирации, могут увеличить процент брака изготавливаемых приборов. Необходимо оговорить, что влияние всех упоминаемых дальше дефектов было еще в 1937 г. определено экспериментальным путем М. А. Агапитовым при его исследовании аспирационного психрометра. Поэтому в нашей работе приводим его цифровые данные:

1) косоустановленная внутренняя защитная трубка может уменьшить скорость аспирации на $5^0/0$;

2) выступ соединительной трубы в тройник величиной 1—2 мм уменьшает до $2,5^0/0$ скорость потока, проходимого около резервуара термометров;

3) наличие зазора между муфточками термометров и тройником также уменьшает величину потока на $1—2^0/0$;

4) отступление от стандартных размеров отдельных деталей психрометра может влиять на величину аспирации в обе стороны, смотря по величине площади просвета, через которую проходит воздушный поток вокруг резервуаров термометров.

Максимальное отклонение от фактической скорости при отношениях площади просвета центральной соединительной трубки s к площади просвета в защитных трубках психрометра s_1 : $\frac{s}{2s_1} = 0,675, 0,737$ и $0,758$ составляло, по данным М. А. Агапитова, $4,8^0/0$.

Рассмотренные нами дефекты, повторяем, поскольку замер аспирации производится у резервуаров термометров и годные приборы выпускаются по установленным нормам, не являются источниками погрешностей в определяемой при проверке величине аспирации, но при изготовлении необходимо учитывать, что наличие указанных дефектов в сумме может снизить аспирацию до $10^0/0$ и повысить, таким образом, процент брака приборов.

Особенно следует упомянуть еще об одном дефекте сборки, который может иметь место в практике, а именно — несоблюдение расстояния от конца резервуаров термометров до нижнего среза внутренней защитной трубки.

Влияние указанного дефекта было исследовано экспериментально. У одного психрометра это расстояние менялось смещением термометров внутри колпачков. Микронасадка оставалась все время в одном и том же положении (вдвинутая до упора хомутика), и только в крайнем положении термометра, наиболее близком от среза внутренней защитной трубки, она была сдвинута вниз и установлена на уровень середины резервуара. Результаты опыта представлены в табл. 7. Длина резервуаров термометров 12 мм, а положение микронасадок по отношению к нижнему срезу внутренней защитной трубки 15 мм (за исключением последней строки, для которой оно равно 7,4 мм).

Анализируя табл. 7, приходим к заключению, что величина замеряемой на определенном уровне аспирации, при условии уменьшения расстояния от резервуара термометра до нижнего среза защитной трубки (или увеличения длины термометра), будет уменьшаться.

Если взять данные, соответствующие длине термометра, близкой к предельной. о стандарту (275,3), то в условиях опыта аспирация оказалась ниже по отдельным минутам на $-0,3$, $-0,2$ м/сек. по сравнению с начальным положением микронасадки, соответствующим средней длине термометра (270 мм).

Таблица 7

Расстояние от среза внутренней защитной трубки до термометров, мм	Положение микронасадки по отношению к термометру, мм	Общая длина термометра, мм	Диаметр резервуаров термометров на уровне открытого конца микронасадки, мм		Скорость аспирации по минутам, м/сек.					
			правого	левого	1	2	3	4	5	6
+12,5	+2,5	270,0	4,0	4,0	2,91	2,87	2,71	2,57	2,44	2,26
+10,6	+4,4	271,9	4,1	4,2	2,76	2,72	2,62	2,47	2,34	2,21
+9,2	+5,8	273,3	4,2	4,2	2,70	2,65	2,56	2,42	2,29	2,16
+7,2	+7,8	275,3	4,4	4,5	2,65	2,57	2,48	2,35	2,21	2,10
+5,0	+10,0	277,5	4,5	4,6	2,55	2,48	2,36	2,26	2,14	2,02
+1,4	+13,6	281,1	4,3	4,0	2,26	2,21	2,10	2,01	1,93	1,80
+1,4	+6,0	281,1	4,3	4,0	2,13	2,10	2,00	1,90	1,81	1,71

Необходимо отметить, что при несоблюдении расстояния от конца резервуаров термометров до нижнего среза внутренней защитной трубки измерение аспирации происходит не на середине резервуаров термометров. Однако это обстоятельство не будет оказывать существенного влияния на результат поверки, как это видно из табл. 7.

Сравнивая величину аспирации, когда микронасадки находились выше резервуаров термометров (предпоследняя строчка в табл. 7) с данными, когда микронасадки были сдвинуты до середины резервуаров (см. последнюю строчку), видим, что она меньше всего на $-0,1$ м/сек. В практике же поверки вряд ли можно встретиться с замером аспирации выше резервуаров термометров.

Погрешность поверки времени одного оборота барабана

Время одного оборота барабана определяется с той целью, чтобы на метстациях можно было по нему судить о сохранении постоянства величины аспирации психрометра. Поэтому представляло интерес выяснить два вопроса:

- 1) с какой погрешностью дается упомянутая величина в поверочном свидетельстве и
- 2) в какой мере скорость аспирации зависит от времени одного оборота барабана.

Для определения погрешности поверки времени одного оборота барабана у новых приборов последнего выпуска последовательно было определено при десятикратной повторности время одного оборота барабана по методике, описанной в „Руководстве по поверке метеорологических и аэрологических приборов“. Результаты статистически обработанного материала приводим в табл. 8.

По данным таблицы максимальная погрешность поверки времени первого оборота барабана не будет превосходить ± 3 сек.

Для определения зависимости скорости аспирации от времени одного оборота барабана экспериментальные исследования проводились по следующей методике: 77 новых психрометров, при одновременном определении аспирации обычным способом через каждую минуту, при помощи двух секундомеров фиксировалось время последовательных оборотов барабана, начиная с первого до полного последнего.

Как выяснилось из опыта, пружина у всех психрометров рассчитана на 6 полных оборотов; в конце седьмого оборота часовой механизм останавливался.

Поэтому для каждого психрометра было зафиксировано время каждого из шести полных оборотов барабана. Всего, таким образом, получено 462 наблюдения.

Таблица 8

Погрешность поверки времени одного оборота барабана

Число приборов	Число наблюдений	$\pm\sigma$ (средн. кв.)	$\pm 3\sigma$ (макс.)	Распределение остаточных погрешностей, %		
				$\pm\sigma$	$\pm 2\sigma$	$\pm 3\sigma$
10	100	0,8	2,4	83	97	98

Результаты статистической обработки материала приведены в табл. 9.

Данные табл. 9 показывают, что среднее время каждого из последовательных оборотов барабана увеличивается с порядковым номером оборота. Так, среднее время первого и второго оборотов составляет 85—86 сек., а последнего, шестого, 111 сек. и колеблется в пределах 3—5 сек.

Таблица 9

Основные характеристики рядов распределения времени каждого из последовательных оборотов барабана и соответствующей скорости аспирации

Порядковый номер оборота	Среднее время оборота, сек.			Средняя скорость аспирации, соотв. врем. 1 оборота, м/сек.			Время окончания оборота
	M	$\pm m$	$\pm\sigma$	M	$\pm m$	$\pm\sigma$	
1	85,7	0,3	2,9	2,3	0,01	0,1	1 м. 26 сек.
2	84,8	0,3	2,8	2,3	0,01	0,1	2 51
3	87,9	0,4	3,1	2,1	0,01	0,1	4 19
4	92,4	0,4	3,3	2,0	0,01	0,1	5 51
5	99,1	0,4	3,9	1,8	0,01	0,1	7 30
6	111	0,6	5,1	1,5	0,02	0,2	9 21

Примечание. M — среднее арифметическое; m — ошибка среднего арифметического; σ — среднее квадратичное отклонение. Число случаев 77.

Средняя скорость аспирации, соответствующая среднему времени оборота, уменьшается с увеличением числа оборотов. В то время как первому и второму обороту барабана соответствует средняя скорость 2,3 м/сек., скорость аспирации при последнем, шестом, обороте составляет 1,5 м/сек., при небольшом колебании в пределах $\pm 0,1$ — $\pm 0,2$ м/сек.

На основании полученного материала графическим путем установлена количественная зависимость между скоростью аспирации и временем одного оборота барабана. Оказалось, что при увеличении времени оборота барабана на 4 сек. скорость аспирации уменьшается на 0,1 м/сек.

Если исходить из данного вывода и нормальной величины аспирации, которая не должна быть ниже 2,0 м/сек., то скорость, при которой еще возможно правильное определение влажности (1,7 м/сек.) [5], должна наступить при увеличении

ремени оборота барабана на ± 12 сек. На этом основании с некоторой гарантией можно рекомендовать отдавать психрометр в перепроверку при расхождении полученных на станции данных с поверочным свидетельством на ± 10 сек., а не на ± 5 сек., как указано в „Руководстве“.

Результаты сравнений поверки аспирации психрометров существующими методами

Заканчивая работу, считаем целесообразным остановиться на сравнении двух методов поверки аспирационных психрометров:

- 1) принятого в настоящее время метода Агапитова, когда скорость аспирации измеряется у резервуаров термометров, и
- 2) метода, применявшегося в ЦБП до 1937 г. и упоминающегося в литературе, когда замер аспирации производится у головки психрометров.

Замеряемая разность давлений при втором методе создается при помощи комбинированной питостатической трубочки, смонтированной в специальный металлический цилиндр, который герметически ввинчивается между вентилятором и корпусом прибора, причем, так же как и при методе, принятом в настоящее время, разность давлений измеряется микроманометром. Питостатическая трубочка предварительно должна быть отградуирована по сравнению с нормальной.

Формула, по которой вычисляется скорость аспирации, при втором методе имеет вид:

$$v = k \cdot 0,8 \frac{s}{2s_1} \sqrt{\frac{2l \sin \alpha \Delta}{\rho}}, \quad (4)$$

где k — коэффициент питостатической трубочки, $0,8$ — коэффициент осреднения, $\frac{s}{s_1}$ — отношение площади сечения воздушного потока в соединительной трубке психрометра к площади его сечения у резервуаров термометров, l — отсчет микроманометра, α — угол наклона трубки микроманометра, Δ — плотность спирта, — плотность воздуха.

Последняя формула отличается от той, которой пользуются при первом методе, кроме коэффициента осреднения, коэффициентом $\frac{s}{2s_1}$, который на основании стандартных размеров психрометра принимается равным $0,750$.

Отсюда естественно, что отступление от стандартных размеров при изготовлении влечет за собой неверное вычисление скорости аспирации.

Погрешность в зависимости от различной величины коэффициентов может колебаться в пределах от $+1,2$ до $-10,6\%$.

Для сравнения двух методов экспериментальным путем были проверены 17 психрометров. Разница в величине аспирации приведена в табл. 10.

Таблица 10

Разница в величине аспирации, определенной 1 и 2 методами

	Разница по минутам						Общая разница по всем минутам
	1	2	3	4	5	6	
Средняя разница, м/сек.	-0,07	-0,07	-0,08	-0,09	-0,08	-0,09	-0,08
Ошибка средней разницы, (\pm)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005
$\pm \sigma$	0,10	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09

В соответствии с данными табл. 10 разница между двумя способами (в сторону занижения аспирации при замере ее у головки психрометра) в среднем составляет $-0,08$ м/сек., но, судя по среднему квадратичному отклонению, может менять свой знак. Следовательно, ее можно считать несущественной. Однако предпочтение следует отдать принятому в настоящее время методу, когда замер аспирации производится у резервуаров термометров, так как в этом случае на точности замера аспирации не сказывается отступление от стандартных размеров.

Общие выводы

Обобщая все изложенное, приходим к следующим выводам:

1. Погрешности поверки аспирации не снижают точности наблюдений по влажности воздуха аспирационным психрометром.

2. Максимальная абсолютная погрешность в измерении скорости аспирации составляет $\pm 0,12$ м/сек. на первой минуте и $\pm 0,09$ м/сек. на всех остальных. Относительная максимальная погрешность по отношению к нормальной скорости аспирации (2,0 м/сек.) соответственно равна 6 и 4,5%.

3. Расхождение в величине аспирации при повторной поверке, в соответствии с полученной величиной погрешности, следует принять равным 0,2 м/сек.

4. Необходимо строго следить за правильной установкой микронасадов, так как смещение их в вертикальной плоскости (возможное только вниз) может в отдельных случаях снизить величину аспирации на $-0,6$ м/сек. Данная погрешность не скажется на точности определения влажности, поскольку величина аспирации выпускаемых приборов ограничена пределами и в действительности может быть только большей. Но она может привести к отбраковке годных приборов.

5. Смещение микронасадов в горизонтальной плоскости не вызывает погрешности в величине аспирации.

6. Считать целесообразным, в соответствии с принятой методикой наблюдений по аспирационному психрометру, нижний предел для величины аспирации в 2,0 м/сек. установить на четвертой минуте после начала работы вентилятора, а не на первой и второй, как это практикуется в настоящее время.

7. Максимальная погрешность поверки времени одного оборота составляет ± 3 сек.

8. Перепроверку аспирации психрометров следует производить при увеличении времени одного оборота барабана на $+10$ сек. против указанного в сертификате.

9. Существующие два метода поверки аспирации при замере ее у резервуаров термометров и у головки психрометра можно считать равноценными, однако предпочтение следует отдать первому методу, так как в этом случае результат поверки не искажается отступлением от стандартных размеров деталей психрометра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по поверке метеорологических и аэрологических приборов. Гидрометеоздат, 1948.
2. Долинский. Измерение скоростей и давлений в воздушных потоках. Стандартгиз, 1935.
3. Прандтль Л. и Титъенс О. Гидро- и аэромеханика, т. 2, ОНТИ, 1935.
4. Маликов М. Ф. Точные измерения. Стандартгиз, 1935.
5. Пенкевич М. С. О некоторых недостатках методов определения влажности воздуха на метеорологических станциях. Отд. оттиск, Изв. ГГО, № 3, 1932.

О ТОЧНОСТИ ПОВЕРКИ ВОЛОСНЫХ ГИГРОМЕТРОВ

Прежде чем говорить о погрешностях поверки волосных гигрометров, необходимо отметить известные по литературным источникам недостатки этих приборов, которые не могут не отразиться на точности их поверки.

Исчерпывающего физического объяснения сущности работы волоса — изменять свою длину при изменениях влажности воздуха — до сих пор не имеется. Теория Э. И. Срезневского [1], не превзойденная до сих пор в отношении обоснования сущности работы волоса, не может объяснить некоторые явления в поведении волосного гигрометра, в частности временного перехода стрелки гигрометра за короткое деление шкалы при резком возрастании относительной влажности. К тому же приходится констатировать по данным многочисленных экспериментальных исследований, что поведение волоса в сильной степени зависит от его предыдущей истории: степени обезжиренности, степени влажности среды, в которой волос находился прежде, а также механических воздействий, каким волос подвергался раньше [2].

Одним из больших недостатков гигрометра является его свойство менять свои поправки после пребывания в условиях среды с малой относительной влажностью. В этом случае волос как бы увеличивает свою длину, поэтому положительные поправки после пребывания в воздухе с малой относительной влажностью у него уменьшаются, а отрицательные увеличиваются. Этот недостаток в большинстве случаев устраняется выдержкой гигрометра в течение нескольких часов в условиях насыщенного или близкого к насыщению воздуха.

Инерция гигрометра увеличивается с падением температуры и относительной влажности, при этом она различна при ходе влажности на увеличение и уменьшение.

Перечисленные недостатки волосного гигрометра приводят к заключению, что строгой закономерности для поведения гигрометра в каждом отдельном случае ожидать не приходится. Поэтому поправки к волосному гигрометру не могут оставаться постоянными в течение длительного периода времени, особенно если принять во внимание чувствительность волоса к внешним механическим воздействиям, как, например, растяжение, загрязнение [5].

Из всего изложенного очевидно, что волосной гигрометр нельзя отнести к приборам большой точности.

По литературным источникам наибольшая точность, полученная в лабораторных условиях, составляет $\pm 2\%$ относительной влажности [4].

Из многолетней практики поверки в ГГО хороший гигрометр сохраняет постоянство поправок на одинаковых влажностях в пределах 3—5% относительной влажности.

Погрешности поверки гигрометров по экспериментальным данным, характеризующие ее точность

Под погрешностью поверки гигрометров следует понимать совокупность погрешностей, обусловленных недостатками установки для поверки гигрометров, точностью аспирационного психрометра, с которым сравниваются гигрометры, и точно-

стью самих гигрометров, обусловленной теми недостатками, о которых говорилось выше. Поэтому трудно установить расчетным путем ожидаемые величины погрешностей. Решить этот вопрос необходимо было экспериментальным путем с участием достаточного числа гигрометров.

Характеристика гигрометров, вошедших в экспериментальные исследования

Для правильного суждения о точности поверки необходимо было подобрать гигрометры с хорошим качеством волоса, т. е. удовлетворяющие установленным допускам при их поверке в лабораторных условиях. Чтобы выполнить эти требования, у собранных из разных источников 30 гигрометров неоднократно заменялся волос с последующей регулировкой приборов. К началу опыта 24 прибора из 30 полностью удовлетворяли установленным при поверке допускам и только 6 приборов имели незначительные отступления.

В течение всего опыта не наблюдалось систематических изменений свойств гигрометров во времени. Следовательно, можно было отклонения результатов отдельных поверок от средней рассматривать как случайные.

Методика и характеристика условий опыта

Экспериментальные исследования состояли в многократной поверке по методу ГГО [3] всех отобранных для этой цели гигрометров. Число поверок по отдельным приборам несколько варьировало от 17 до 20 в связи с одновременным подбором волоса. Весь опыт был проведен в период с 1/VII по 8/X 1949 г.

Ввиду того, что приборы поверялись с разными промежутками между отдельными поверками (от одного до нескольких дней), для исключения влияния предыдущих условий, в целях восстановления волоса, приборы накануне поверки помещались в гигростат при влажности, близкой к 100%. Через несколько часов (3—4) гигростат открывался, и гигрометры, постепенно приняв комнатную влажность, сохраняли ее до начала поверки на следующий день.

Стрелки гигрометров после поверки не устанавливались на 95% влажности, как это обычно принято; только у тех приборов, стрелки которых время от времени выходили за пределы шкалы, они при 100% влажности устанавливались на 95%. Таких оказалось только 9 приборов, у остальных (21) стрелки не трогались в течение всего опыта. Выдержка на отдельных точках по влажности, куда входила и операция установки заданной влажности, составляла 30 мин.

Влажный режим гигростата по отдельным участкам не изучался ввиду отсутствия специальной аппаратуры и невозможности применять для этой цели аспирационный психрометр. Однако замечены следующие недостатки гигростата:

1. Влажный режим, несмотря на перемешивание вентилятором, недостаточно однороден. Для исключения этой неоднородности необходимо дополнительно перемешивать воздух, помимо вентилятора, медленным вращением стойки с гигрометрами.

2. Быстрота установления нужной влажности в большой степени зависит от состояния влажности окружающего воздуха, что указывает на недостаточную герметичность стенок камеры. Кроме того, в гигростате нет приспособления для вытирания стенок и тубусов (для сообщения с источником влаги), необходимого для экономии времени и сохранения темпа изменения влажности при переходе от 100 к 90% влажности.

3. Температура в гигростате при ходе на понижение влажности падает, при ходе на повышение растет, причем наибольшая разница температуры между ходом на понижение и повышение влажности, в отдельных случаях доходящая до 3°, наблюдается при высоких влажностях (90—100%), когда шкаф увлажняется теплыми парами воды.

Погрешность в определении относительной влажности от такого изменения температуры на этом участке шкалы составляет по литературным источникам около 1% относительной влажности [2].

Результаты определения погрешности поверки гигрометров

Поверка гигрометров, как известно, сводится к сравнению их показаний с показаниями аспирационного психрометра в закрытой камере при различной влажности различном ее ходе: на понижение и повышение. В результате получают ряд поправок к гигрометрам.

В оценку годности приборов положены три качества:

1. Постоянство показаний при ходе на понижение и повышение влажности, характеризуемое разностью поправок на одних и тех же точках при ходе влажности на понижение и повышение.

2. Общая чувствительность, под которой понимается отношение изменения показаний гигрометра в интервале влажности 100—30% к соответствующему изменению влажности по аспирационному психрометру при ходе на понижение и повышение влажности.

В практике поверки общая чувствительность характеризуется разностью поправок гигрометра в указанном интервале влажности, которая дает ответ на вопрос, на сколько процентов влажности отличается изменение показаний гигрометра в интервале 100—30 и 30—100% по сравнению с соответствующим изменением влажности по аспирационному психрометру.

3. Чувствительность гигрометра на большой влажности, под которой понимается отношение изменения показаний гигрометра в интервале влажности 200—90% к соответствующему изменению влажности по аспирационному психрометру также при ходе на понижение и повышение влажности.

Для оценки этой чувствительности практически берут разность показаний гигрометров в указанном интервале и сравнивают ее с разностью показаний по аспирационному психрометру в том же интервале.

Согласно приведенной оценке годности гигрометров, в задачу экспериментального исследования входило определение количественной характеристики трех погрешностей:

1) погрешности в определении разности поправок гигрометров при ходе на повышение и понижение влажности,

2) погрешности в определении общей чувствительности и

3) погрешности в определении чувствительности на большой влажности.

Попутно, так как в течение всего опыта стрелки у большинства гигрометров не переводились, можно было получить суждение о погрешности в определении этих поправок гигрометров.

Поскольку поверка гигрометров производится один раз, погрешность характеризовалась средней квадратичной погрешностью ряда наблюдений, которая вычислялась на основании ряда остаточных погрешностей, составленного из частных выводов для каждого прибора по формуле:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum \rho^2}{k(n-1)}}$$

где ρ — остаточная погрешность, n — число повторностей и k — число приборов.

Чтобы иметь сравнительные данные по каждому прибору, полученные при поверке поправки приводились графически к каждому целому десятку шкалы гигрометров.

Рассмотрим результаты определения каждой из указанных погрешностей.

Погрешность в определении поправок к гигрометрам

Прежде чем останавливаться на характеристике данной погрешности, считаем нужным обратить внимание на табл. 1, в которой дана разница в средних поправках, полученных при повышении и понижении влажности у гигрометров, стрелки которых не переводились в течение всего опыта.

Таблица 1
Разница в средних поправках при ходе на повышение и понижение влажности

№ приборов	Влажность по шкале гигрометра, %				
	97	90	80	70	50
383286	0	0	0	-2	-1
409116	0	0	-4	-4	-3
2248	0	-1	-3	-3	-2
1036	-1	0	-2	-2	-1
2066	0	-1	-3	-4	-2
2122	0	0	-4	-4	-2
409162	-1	0	-2	-3	-1
508207	0	-1	-2	-3	-1
320581	0	0	-2	-3	-2
1900	0	0	-3	-3	-1
408780	0	0	-2	-3	-1
319397	0	0	-2	-2	-1
526	+1	0	-4	-5	-2
1878	-1	-1	-2	-3	-1
619	+1	0	-2	-2	-1
349637	0	0	-3	-3	-2
299892	+1	0	-4	-5	-2
510	0	0	-1	-2	-1
64513	0	0	-2	-3	-2
716	0	-1	-2	-3	-1
1000	-1	-2	-3	-3	-2

Примечание. Поправка при повышении минус поправка при понижении.

При влажностях 97—90% полученные разницы по отдельным приборам не превышают 1% относительной влажности. При влажностях ниже 90% разницы имеют отрицательный знак и наибольшие по величине разницы наблюдаются при 70%, 80%. Это указывает на то, что показания гигрометров при ходе на повышение влажности завышены, отчего при данном ходе влажности положительные поправки меньше, а отрицательные больше, чем при ходе на понижение.

Погрешность в определении поправок приведена в табл. 2 как по отдельным приборам, так и в совокупности по всем приборам.

По отдельным приборам средняя квадратичная погрешность не превосходит $\pm 5\%$ относительной влажности, причем она больше по абсолютной величине на высоких влажностях. Причину большей изменчивости показаний гигрометров на больших влажностях выяснить не удалось, но замечено, что это связано с увлажнением шкафа парами воды при подключении источника влаги.

Средняя квадратичная погрешность в определении поправок по всем приборам составляет $\pm 2\%$ относительной влажности по всей шкале гигрометра и одинакова при ходе влажности.

Таблица 2
Средняя квадратичная погрешность $\pm \sigma$ в определении поправок к гигрометрам, %

№ приборов	Влажность по шкале гигрометра, %												Число случаев
	при понижении						при повышении						
	97	90	80	70	50	30	97	90	80	70	50	30	
383286	4	2	1	1	1	2	3	2	1	2	1	2	17
409116	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	19
2248	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	19
1036	2	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	2	19
2066	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	20
2122	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	20
409162	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	20
508207	1	2	1	1	1	3	1	2	2	1	2	3	20
320581	4	4	4	3	2	2	4	3	4	4	2	2	18
1900	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	18
408780	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	18
319397	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	20
526	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	20
1878	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	18
619	5	4	3	3	3	2	5	4	4	3	2	2	19
349637	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	20
299892	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	20
510	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	18
64513	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	18
716	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	19
1000	4	4	3	4	3	2	4	5	3	3	3	2	14
По всем приборам	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	394

как на понижение, так и на повышение. Максимальная погрешность, равная тройной средней квадратичной, составляет $\pm 6\%$ относительной влажности. Таким образом, точность в определении поправок не меньше точности показаний гигрометров лабораторных условиях, о которой упоминается в литературе.

Погрешность в определении разности поправок гигрометров при ходе на понижение и повышение влажности

Характеристика данной погрешности приведена в табл. 3.

Как видно из таблицы, у каждого из приборов средние разности поправок по абсолютной величине наибольшие на точках 80, 70 и 60% и у отдельных приборов достигают 4% относительной влажности при среднем квадратичном отклонении в $\pm 1\%$ относительной влажности.

По всем приборам средняя величина разности поправок также неодинакова по отдельным участкам шкалы гигрометров. В то время как на точках 97, 90, 50

Таблица 3

Средняя квадратичная погрешность $\pm \sigma$ в определении разности поправок гигрометров при понижении и повышении влажности, %

№ приборов	Влажность по шкале гигрометра, %														Число случаев
	97		90		80		70		60		50		40		
	средн. разн. погр.	$\pm \sigma$	средн. разн. погр.	$\pm \sigma$	средн. разн. погр.	$\pm \sigma$	средн. разн. погр.	$\pm \sigma$	средн. разн. погр.	$\pm \sigma$	средн. разн. погр.	$\pm \sigma$	средн. разн. погр.	$\pm \sigma$	
383286	3	1	1	1	1	1	3	1	2	1	1	1	0	1	17
409116	1	1	2	1	4	1	4	1	3	1	2	1	1	1	19
2248	0	1	1	1	3	1	3	1	2	1	2	1	1	1	19
1036	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	19
2066	1	1	1	1	3	1	4	1	3	1	2	1	1	1	20
2122	1	1	1	1	4	1	4	1	3	1	2	1	1	1	20
409162	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	0	1	20
508207	1	1	1	2	3	1	3	1	2	1	1	1	0	1	20
320581	2	2	1	1	2	1	3	1	3	1	2	1	1	1	18
1900	1	1	1	1	3	1	3	1	2	1	1	1	1	1	18
408780	1	1	1	1	2	1	3	1	2	1	1	1	1	1	18
319397	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	20
526	2	1	1	1	4	1	4	1	3	1	2	1	1	1	20
1878	1	1	2	1	3	1	2	1	2	1	1	1	1	1	19
619	3	3	1	1	2	2	3	1	2	1	1	1	1	1	19
349637	1	1	1	1	3	1	3	1	2	1	1	1	1	1	20
299892	1	1	1	1	4	1	4	1	3	1	2	1	1	1	20
510	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	18
64513	1	1	1	1	2	1	3	1	2	1	2	1	1	1	18
1716	1	1	1	1	3	1	3	1	2	1	1	1	1	1	19
1000	2	2	2	2	3	2	3	1	2	1	1	1	0	1	14
11159	1	1	2	1	4	1	3	1	3	1	2	1	1	1	19
9276	1	1	2	2	4	1	3	1	2	1	1	1	0	1	19
52295	1	1	1	1	3	1	3	1	2	1	1	1	1	1	19
245986	2	1	2	1	3	1	2	1	2	1	1	1	0	1	17
500	4	3	3	2	3	2	4	1	3	1	3	1	1	1	18
338020	1	1	2	1	3	1	3	1	2	1	1	1	0	1	19
434045	2	3	3	2	2	1	2	1	3	1	2	1	0	1	19
349758	1	1	2	2	4	1	3	1	2	1	2	2	0	1	18
1704	1	1	1	1	3	1	3	1	2	1	2	1	1	1	19
По всем приборам	1	1	1	1	3	1	3	1	2	1	1	1	1	1	562

и 40% она составляет 1%, на точках 80, 70% она равна 3% и на 60—2% относительной влажности.

Средняя квадратичная погрешность в определении разности поправок при ходе на понижение и повышение одна и та же во всех участках шкалы гигрометра и составляет $\pm 1\%$ относительной влажности. Максимальная — равна $\pm 3\%$ относительной влажности.

Распределение остаточных погрешностей показывает, что подавляющее большинство из них укладывается в пределах $\pm 2\%$ относительной влажности и только небольшой процент падает на погрешность, равную по величине тройной средней квадратичной погрешности.

Таблица 3а

Распределение остаточных погрешностей в процентах от общего числа случаев

Остаточные погрешности в пределах	Влажность по шкале приборов, %						
	97	90	80	70	60	50	40
$\pm\sigma = \pm 1\%$	86	84	83	89	92	87	93
$\pm 2\sigma = \pm 2\%$	93	95	97	99	99	99	100
$\pm 3\sigma = \pm 3\%$	98	99	99	100	100	100	100
$> \pm 3\sigma > \pm 3\%$	100	100	100	100	100	100	100

Примечание. Число наблюдений 562.

Принятый в настоящее время допуск на величину разности поправок на 100% влажности в 2% относительной влажности совпадает с величиной двойной средней квадратичной погрешности.

Погрешность в определении общей чувствительности гигрометров

Представление о погрешности в определении общей чувствительности дает табл. 4, в которой сведены результаты статистической обработки данных об общей чувствительности приборов при ходе как на понижение, так и на повышение влажности.

Общая чувствительность представлена в виде отношения изменения влажности по гигрометру в интервале 100—30% к соответствующему изменению относительной влажности по аспирационному психрометру.

По данным табл. 4 видно, что опытом охвачены приборы с общей чувствительностью в широком диапазоне от 0,76 до 1,19.

Средняя квадратичная погрешность в определении общей чувствительности по отдельным приборам только в единичных случаях достигает $\pm 0,08$. По общему ряду для всех приборов средняя квадратичная погрешность равна $\pm 0,03$, максимальная погрешность составляет $\pm 0,09$. Ход влажности не оказывает влияния на величину погрешности.

Распределение остаточных погрешностей свидетельствует о том, что только 1% из общего числа падает на величину погрешностей, больших, чем тройная средняя квадратичная, равная $\pm 0,09$.

На основании полученной величины максимальной погрешности можно считать, что наименьший возможный допуск на величину общей чувствительности должен быть равен $\pm 0,09$. Принимая нормальную общую чувствительность равной 1,00, можно нижним пределом величины общей чувствительности считать 0,91, верхним пределом 1,09.

Общая чувствительность в практике поверки, как упоминалось выше, характеризуется разностью поправок, полученных при 100 и 30% влажности при ходе ее на понижение и повышение. Эта разность поправок показывает, на сколько

Таблица 4

Средняя квадратичная погрешность σ в определении общей чувствительности гигрометров

№ приборов	На понижение влажности		На повышение влажности		Число случаев
	средняя величина общей чувствительности	$\pm\sigma$	средняя величина общей чувствительности	$\pm\sigma$	
383286	0,76	0,01	0,76	0,01	17
409116	0,95	0,02	0,94	0,02	19
2248	1,06	0,02	1,06	0,02	19
1036	1,07	0,03	1,08	0,03	19
2066	1,03	0,02	1,03	0,02	20
2122	0,95	0,02	0,95	0,02	20
409162	0,97	0,01	0,97	0,02	20
508207	0,94	0,04	0,94	0,05	20
320581	1,11	0,03	1,12	0,02	18
1900	1,02	0,01	1,01	0,02	18
408780	0,98	0,02	0,98	0,02	18
319397	1,01	0,02	1,00	0,02	20
526	0,93	0,02	0,92	0,02	20
1878	1,01	0,02	1,02	0,02	19
619	0,90	0,02	0,90	0,02	19
349637	0,99	0,02	0,99	0,02	20
299892	0,94	0,02	0,94	0,01	20
510	1,07	0,02	1,07	0,02	18
64513	1,03	0,02	1,03	0,02	18
1716	1,02	0,01	1,02	0,01	19
1000	1,01	0,02	1,02	0,01	14
11159	1,01	0,02	1,01	0,02	19
9276	0,97	0,02	0,97	0,02	19
52295	1,19	0,04	1,20	0,04	19
245986	0,97	0,08	0,97	0,07	17
500	1,01	0,06	1,03	0,07	18
338020	0,96	0,02	0,97	0,02	19
434045	0,88	0,07	0,89	0,07	19
349758	0,92	0,02	0,93	0,02	18
1704	1,06	0,03	1,06	0,03	19
По всем приборам		0,03		0,03	562

процентов изменение влажности по прибору отличается от изменения по аспирационному психрометру, т. е. представляет собой не что иное, как погрешность в изменении влажности по гигрометру при изменении истинной влажности от 100 до 30%, т. е. на 70%.

Если взять возможный по экспериментальным данным допуск на величину общей чувствительности ($\pm 0,09$), то при изменении истинной влажности на 70% погрешность в изменении влажности по гигрометру будет равна 6% относительной влажности ($0,09 \times 70$).

Сравнивая данную погрешность с допуском, принятым при поверке для случая, когда общая чувствительность меньше нормальной (5%),

Таблица 4а

Распределение остаточных погрешностей в процентах от общего числа

Остаточные погрешности в пределах	На понижение влажности	На повышение влажности
$\pm\sigma = \pm 0,03$	84	85
$\pm 2\sigma = \pm 0,06$	96	94
$\pm 3\sigma = \pm 0,09$	99	99
$> \pm 3\sigma > \pm 0,09$	100	100

видим, что принятый допуск близок к наименьшему. Допуск (10%), принятый для случая, когда общая чувствительность гигрометра больше нормальной, расширен, что следует признать целесообразным, так как чувствительность гигрометра со временем уменьшается.

Погрешность в определении чувствительности гигрометров на большой влажности

Результаты определения указанной погрешности сведены в табл. 5, составленную на основании статистической обработки данных по чувствительности гигрометров на большой влажности при ходе как на понижение, так и на повышение влажности.

Чувствительность на большой влажности выражена отношением изменения показаний гигрометра в интервале влажности 100—90% к соответствующему изменению влажности по аспирационному психрометру.

Таблица 5

Средняя квадратичная погрешность σ в определении чувствительности гигрометров на большой влажности (100—90%)

№ приборов	На понижение влажности		На повышение влажности		Число случаев
	средняя величина чувствительности	$\pm\sigma$	средняя величина чувствительности	$\pm\sigma$	
383286	0,67	0,13	0,68	0,11	17
409116	0,96	0,27	0,95	0,25	19
2248	1,00	0,28	0,95	0,26	19
1036	0,93	0,24	0,97	0,20	19
2066	0,97	0,25	0,96	0,27	20
2122	1,10	0,41	1,04	0,26	20
409162	0,75	0,19	0,83	0,15	20
508207	1,00	0,32	0,93	0,16	20
320581	1,04	0,27	1,13	0,24	18
1900	1,04	0,30	1,02	0,17	18
408780	0,98	0,37	0,98	0,19	18
319397	0,91	0,22	0,90	0,28	20
526	0,88	0,28	0,72	0,21	20
1878	0,66	0,23	0,63	0,22	19
619	0,74	0,27	0,66	0,16	19
349637	0,96	0,45	0,90	0,20	20
299892	1,02	0,40	0,88	0,23	20
510	1,23	0,38	1,28	0,31	18
64513	1,23	0,31	1,22	0,24	18
1716	1,04	0,27	1,00	0,19	19
1000	1,00	0,36	0,89	0,25	14
11159	1,01	0,20	0,83	0,20	19
9276	0,82	0,24	0,84	0,21	19
52295	1,18	0,35	1,20	0,28	19
245986	0,87	0,26	0,85	0,19	17
500	0,84	0,34	0,74	0,28	18
338020	1,00	0,35	0,97	0,29	19
434045	0,93	0,26	0,89	0,20	19
349758	0,93	0,35	0,87	0,18	18
1704	0,76	0,31	0,81	0,18	19
По всем приборам		0,31		0,22	562

Просматривая табл. 5, замечаем, что средняя чувствительность гигрометров на большой влажности по отдельным приборам так же различна, как и общая чувствительность (по нашему ряду наименьшая величина 0,66, наибольшая — 1,28).

Средняя квадратичная погрешность в определении чувствительности на большой влажности по отдельным приборам при понижении влажности достигает $\pm 0,45$, при повышении $\pm 0,31$. У большинства приборов погрешность при повышении влажности меньше.

Таблица 5а

**Распределение остаточных погрешностей
в процентах от общего числа**

Остаточные погрешности в пределах	На понижение влажности	Остаточные погрешности в пределах	На повышение влажности
$\pm\sigma = \pm 0,31$	80	$\pm\sigma = \pm 0,22$	75
$\pm 2\sigma = \pm 0,62$	94	$\pm 2\sigma = \pm 0,44$	94
$\pm 3\sigma = \pm 0,93$	98	$\pm 3\sigma = \pm 0,66$	99
$> \pm 3\sigma > \pm 0,93$	100	$> \pm 3\sigma > \pm 0,66$	100

Средняя квадратичная погрешность по всем приборам при ходе влажности на понижение равна $\pm 0,31$, при ходе на повышение $\pm 0,22$, что составляет 31 и 22% от нормальной чувствительности, считая ее равной единице. Такую большую погрешность в чувствительности на большой влажности следует отнести за счет тех недостатков в работе самого волоса, о которых говорилось в начале статьи: влияние резких изменений влажности, предшествующих условий и пр.

Установленный в поверке допуск на величину чувствительности гигрометра на большой влажности дан в одну сторону: чувствительность должна быть не меньше 0,50, или иначе, допустимая погрешность должна быть не больше 50% от нормальной чувствительности.

Этот допуск при сравнении с полученными погрешностями близок к двойной средней квадратичной погрешности при ходе на понижение и повышение влажности.

Обращаясь к распределению остаточных погрешностей, видим, что в пределах данного допуска укладывается около 90—96% всех случаев. Поэтому можно считать, несмотря на его большую величину, что этот допуск характеризует прибор, а его большая величина свидетельствует о том, что волос на большой влажности отличается малой чувствительностью и большей точности дать не может.

Погрешности поверки гигрометров при сокращении времени выдержки на отдельных точках по влажности и при поверке их до более низких пределов

На основании полученной количественной характеристики погрешностей поверки волосных гигрометров мы имели возможность в 1950 г. подойти к решению двух вопросов: 1) о сокращении времени выдержки гигрометров на отдельных точках по влажности и 2) о возможности их поверки до более низких пределов.

Для решения первого вопроса нами была произведена специальная поверка гигрометров с учетом времени каждой отдельной операции и времени, в течение которого показания гигрометров становятся постоянными.

В гигростате устанавливалась определенная влажность при ходе на понижение и повышение: около 100, 90, 80, 60, 40 и 20%.

Через 2—3 мин. после перехода на новую по влажности точку производились одновременные отсчеты через каждую минуту установленного в гигростат психрометра Августа (для ориентировочного суждения о стабильности влажного режима в гигростате) и 10 гигрометров, при этом учитывалось время, затраченное на уста-

новку нужной влажности. Отсчеты прекращались после того, как показания гигрометров становились постоянными.

В результате обработки полученного материала мы пришли к заключению, что выдержку гигрометров на отдельных точках по влажности можно сократить до следующих пределов при ходе ее на понижение и повышение, на 100-й влажности — 10 мин., 90—80% — 15 мин., 60, 40, 20% — 20 мин. Указанное время дано с учетом времени, необходимого для перехода на другую точку и при соблюдении указанного ниже темпа при понижении и повышении влажности до определенного предела: в течение 5 мин. влажность менялась на 10%. При приведенной выдержке гигрометр остаётся не менее 10 мин. в условиях установившейся или медленно приближающейся к пределу влажности.

Для выяснения влияния времени выдержки на принятые в оценку годности качества гигрометров была проведена сравнительная поверка 31 гигрометра до обычного по влажности (30%) предела при 30-минутной и сокращенной выдержке. Результаты приведены в табл. 6.

Анализ табл. 6 приводит к заключению, что разница в абсолютных величинах основных характеристик гигрометров при поверке их с различной выдержкой находится в пределах точности поверки при 30-минутной выдержке.

Погрешности поверки гигрометров до 20%-ной относительной влажности

Для определения указанной погрешности была проведена десятикратная поверка 33 гигрометров, из которых 20 участвовали в опыте 1949 г., а у 13 заново был натянут волос. При поверке соблюдались приведенные выше сокращенное время выдержки и темп снижения влажности. В целях восстановления волоса, так же как и в 1949 г., накануне поверки гигрометры находились при влажности, близкой к 100%, в течение 3—4 час., после чего гигрометр открывался до начала поверки на следующий день.

Материал был обработан также, как и в 1949 г. Полученные результаты сведены в табл. 7, 8, 9.

Рассматривая данные табл. 7, в которой приведены погрешности поверки разности поправок при ходе на понижение и повышение, необходимо отметить следующее.

Средняя квадратичная погрешность σ в определении разности поправок при ходе на понижение и повышение влажности, так же как и в опыте 1949 г., одна и та же и не превосходит по всему ряду $\pm 1\%$ относительной влажности на всех участках шкалы. Максимальная погрешность равна $\pm 3\%$ относительной влажности.

Абсолютные значения средних разностей поправок M у каждого из приборов, как и в 1949 г., наибольшие на точках 80, 70 и 60%. Это создает уверенность в том, что возможное непостоянство приборов на этих влажностях нельзя объяснить временем выдержки или поверкой до более низких пределов, а причины этого непостоянства следует искать в самих свойствах волоса.

Распределение остаточных погрешностей для ряда разностей поправок при 80%-ной влажности (точка наиболее непостоянная по показаниям гигрометров) по опытам 1949—1950 гг. указывает почти на совершенно одинаковое варьирование указанных рядов (рис. 1).

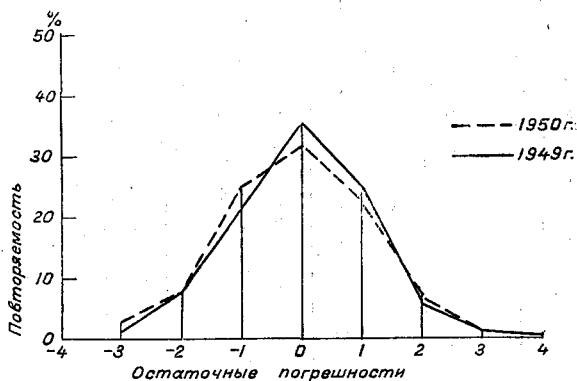


Рис. 1. Кривые распределения остаточных погрешностей для разности поправок при ходе на понижение и повышение влажности по опытам 1949—1950 гг.

Таблица 7

Средняя квадратичная погрешность σ в определении разности поправок при ходе на понижение и повышение влажности, %

№ приборов	Влажность, %															
	100		90		80		70		60		50		40		30	
	M	$\pm\sigma$	M	$\pm\sigma$	M	$\pm\sigma$	M	$\pm\sigma$	M	$\pm\sigma$	M	$\pm\sigma$	M	$\pm\sigma$	M	$\pm\sigma$
11159	1	1	2	1	3	1	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1
510	1	2	2	1	3	1	3	1	3	1	2	1	1	1	1	1
526	3	1	3	2	5	2	4	1	4	1	1	1	2	1	1	1
383286	2	1	2	1	3	2	3	1	2	1	2	2	2	2	1	1
408780	2	1	1	1	3	1	3	1	2	2	2	1	2	2	1	2
299892	3	1	2	1	5	1	5	1	4	1	2	1	2	2	1	2
64513	1	1	2	1	3	1	2	1	3	1	1	1	2	1	1	1
320581	2	1	2	2	3	1	3	1	3	1	2	1	1	1	1	1
409116	2	1	3	2	5	2	4	1	3	1	2	1	1	1	1	1
409162	2	1	1	1	3	1	3	1	3	1	1	1	1	2	1	1
2066	2	1	2	2	3	1	3	1	2	1	1	1	1	1	1	0
1036	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	2
1878	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1
1900	2	2	1	1	3	1	3	1	3	1	2	1	1	1	1	2
3574	2	1	2	1	3	1	3	1	3	1	1	1	1	2	1	1
44909	3	1	1	1	3	1	3	1	3	1	1	2	2	2	1	2
508207	1	1	3	1	3	1	3	1	1	1	2	1	1	1	0	0
1114	3	2	5	2	5	2	4	2	3	2	1	1	2	2	1	1
52295	3	1	3	2	3	2	3	1	3	1	2	1	1	1	1	2
1000	3	2	3	2	4	2	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1
2122	2	1	4	2	5	1	4	2	4	2	2	1	1	1	1	1
110434	2	1	3	2	4	1	4	1	3	1	1	1	1	1	0	1
310107	3	1	4	1	3	1	2	1	1	1	1	2	0	1	1	1
9276	3	1	4	2	5	2	4	1	3	1	2	2	2	1	0	1
1300	2	1	3	2	4	1	4	1	3	1	2	1	2	2	1	1
338020	2	1	3	2	4	1	4	1	2	1	2	2	1	1	0	1
619	1	1	3	1	4	1	4	1	2	2	2	2	2	2	1	1
1716	3	2	4	2	5	1	5	1	4	2	2	1	2	1	0	1
349637	3	1	3	2	4	1	4	1	4	1	3	1	2	2	1	1
1052	4	1	4	1	4	1	3	1	2	1	1	2	1	1	0	1
65200	4	2	4	1	4	1	3	1	2	1	1	2	1	1	0	1
618	4	1	3	2	3	1	3	1	2	1	2	2	2	2	1	1
1017	1	1	4	2	4	2	4	1	2	1	1	1	1	1	1	1
По всем приборам		± 1		± 1		± 1		± 1		± 1		± 1		± 1		± 1

Почти все остаточные погрешности укладываются в пределах тройной средней квадратичной погрешности, равной $\pm 3\sigma$ относительной влажности.

В табл. 8, кроме средней квадратичной погрешности в определении общей чувствительности при сокращенной выдержке приборов и при их поверке до 20% относительной влажности, для сравнения приведены средние значения общей чувствительности по опытам 1949 и 1950 гг.

Как видно из табл. 8, абсолютное значение общей чувствительности у приборов, участвовавших в опытах 1949 и 1950 гг., находится в пределах точности их поверки при 30-минутной выдержке и до 30% относительной влажности.

Средняя квадратичная погрешность по отдельным приборам при ходе на понижение и повышение влажности доходит до $\pm 0,07$. По всем приборам она составляет $\pm 0,04$. Практически ее следует считать одной и той же по сравнению с опытами 1949 г.

Представленное на рис. 2 и 3 распределение остаточных погрешностей при ходе влажности на понижение и повышение носит один и тот же характер как в 1949 г., так и в 1950 г. Только пределы варьирования, в соответствии со средней квадратичной погрешностью, несколько расширены в 1950 г.

Таблица 8

Средняя квадратичная погрешность σ в определении общей чувствительности при поверке гигрометров до 20% влажности при сокращенной выдержке

№ приборов	На понижение влажности			На повышение влажности		
	среднее значение общей чувствительности по опытам		$\pm\sigma$	среднее значение общей чувствительности по опытам		$\pm\sigma$
	1949 г.	1950 г.		1949 г.	1950 г.	
11159	1,01	1,04	0,03	1,01	1,04	0,04
510	1,07	1,04	0,02	1,07	1,03	0,02
526	0,93	0,92	0,03	0,92	0,92	0,03
383286	0,76	0,79	0,03	0,76	0,79	0,03
408780	0,98	0,95	0,03	0,98	0,94	0,02
299892	0,94	0,94	0,03	0,94	0,92	0,02
64513	1,03	1,01	0,02	1,03	1,02	0,03
409162	0,97	0,94	0,05	0,97	0,94	0,04
1036	1,07	1,03	0,04	1,08	1,02	0,03
1878	1,01	1,00	0,03	1,02	1,00	0,03
320581	1,11	1,08	0,05	1,12	1,08	0,05
2066	1,03	1,04	0,04	1,03	1,04	0,04
1900	1,02	1,03	0,03	1,02	1,01	0,03
9276	0,97	0,97	0,03	0,97	0,98	0,03
2122	0,95	0,95	0,04	0,95	0,96	0,03
409116	0,95	0,96	0,04	0,94	0,97	0,04
1000	1,01	0,91	0,05	1,02	0,93	0,05
619	0,90	0,93	0,04	0,90	0,98	0,04
349637	0,99	0,96	0,05	0,99	0,98	0,05
1716	1,02	0,97	0,04	1,02	0,99	0,05
44909	—	0,98	0,04	—	0,96	0,03
508207	—	0,93	0,02	—	0,94	0,05
310107	—	0,89	0,03	—	0,90	0,03
1017	—	0,92	0,07	—	0,93	0,07
1052	—	0,96	0,04	—	0,96	0,04
3574	—	1,07	0,05	—	1,06	0,06
25295	—	1,06	0,05	—	1,04	0,07
1114	—	0,92	0,05	—	0,92	0,05
110434	—	0,94	0,04	—	0,94	0,03
1300	—	1,02	0,03	—	1,02	0,03
618	—	0,92	0,07	—	0,92	0,07
65200	—	0,96	0,04	—	0,97	0,04
338020	—	0,95	0,03	—	0,96	0,03
По всем приборам . . .			0,04			0,04

Примечание. По каждому прибору 10 наблюдений, всего 330.

Рассматривая результаты определения погрешности поверки чувствительности гигрометров на большой влажности, приведенные в табл. 9, обращаем внимание на то, что сама средняя величина чувствительности на большей влажности в 1949 и 1950 гг., несмотря на кажущееся различие, так же как и величина общей чувствительности, — в пределах точности поверки при условиях 1949 г.

Величина средней квадратичной погрешности как при повышении, так и при понижении влажности меньше, чем в 1949 г., и составляет при понижении влажности $\pm 0,20$, при повышении $\pm 0,13$. Меньшую величину по сравнению с 1949 г. можно объяснить соблюдением определенного темпа при переходе на другую влажность.

Таблица 9

Средняя квадратичная погрешность в определении чувствительности на большой влажности при поверке гигрометров до влажности 20% при сокращенной выдержке

№ прибор	На понижение влажности			На повышение влажности		
	среднее значение чувствительности по опытам		$\pm \sigma$	среднее значение чувствительности по опытам		$\pm \sigma$
	1949 г.	1950 г.		1949 г.	1950 г.	
11159	1,01	1,08	0,16	0,83	0,84	0,10
510	1,23	1,54	0,29	1,28	1,10	0,13
526	0,88	0,86	0,17	0,72	0,58	0,12
383286	0,67	0,79	0,20	0,68	0,66	0,10
408780	0,98	1,06	0,17	0,98	0,94	0,25
299892	1,02	1,06	0,14	0,88	0,71	0,13
64513	1,23	1,03	0,13	1,22	0,87	0,11
409162	0,75	1,06	0,22	0,83	0,82	0,10
1036	0,93	1,07	0,17	0,97	0,90	0,14
1878	0,66	0,90	0,21	0,63	0,77	0,13
320581	1,04	0,96	0,23	1,13	0,75	0,24
2066	0,97	0,85	0,28	0,96	0,76	0,16
1900	1,04	1,07	0,16	1,02	0,85	0,15
-9276	0,82	0,93	0,22	0,84	0,70	0,14
2122	1,10	0,98	0,20	1,04	0,70	0,15
409116	0,96	0,82	0,17	0,95	0,67	0,10
1000	1,00	0,66	0,17	0,89	0,51	0,14
619	0,74	1,08	0,22	0,66	0,90	0,14
349637	0,96	0,92	0,17	0,90	0,75	0,09
1716	1,04	1,00	0,30	1,00	0,79	0,14
44909	—	1,01	0,17	—	0,77	0,13
508207	—	0,82	0,16	—	0,61	0,07
310107	—	0,82	0,18	—	0,65	0,10
1017	—	0,84	0,19	—	0,66	0,09
1052	—	0,93	0,17	—	0,74	0,06
3574	—	1,03	0,29	—	0,77	0,14
52295	—	1,00	0,22	—	0,82	0,13
1114	—	0,73	0,21	—	0,49	0,19
110434	—	0,94	0,20	—	0,70	0,17
1300	—	0,93	0,21	—	0,67	0,15
618	—	0,86	0,18	—	0,59	0,13
65200	—	0,75	0,18	—	0,53	0,14
338020	—	0,96	0,15	—	0,78	0,17
По всем приборам . . .	0,20			—	—	0,13

Примечание. По каждому прибору 10 наблюдений, всего 330.

Кривые распределения остаточных погрешностей, представленные на рис. 4 и 5, уже не так согласованы, как для разности поправок и общей чувствительности. Но если принять во внимание установленный в поверке допуск на величину общей чувствительности (не меньше 50%) и достаточно большие погрешности, полученные по опытам в 1949 и 1950 гг., то можно считать, что большую согласованность и трудно было бы получить. Очевидно, волос большей точности дать не может.

На основании изложенного выше приходим к заключению, что точность поверки гигрометров при сокращенной выдержке и до 20% относительной влажности не ниже точности поверки до 30% относительной влажности и при 30-минутной выдержке.

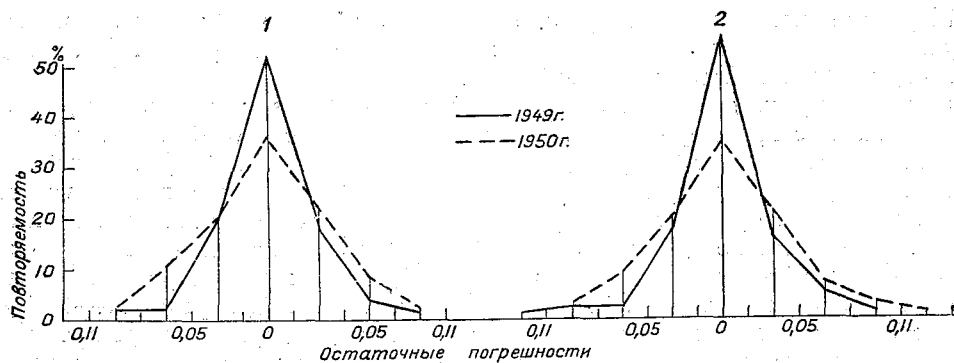


Рис. 2. Кривые распределения остаточных погрешностей для общей чувствительности гигрометров при ходе на понижение (1) и повышение (2) влажности по опытам 1949—1950 гг.

С другой стороны, поскольку основные характеристики гигрометров не меняются от поверки до 20% относительной влажности, нецелесообразно осложнять поверку лишней точкой.

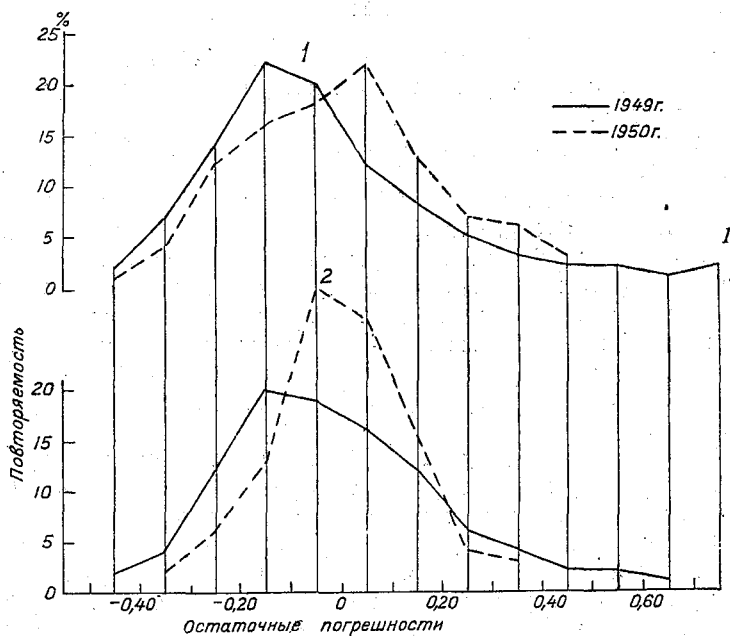


Рис. 3. Кривые распределения остаточных погрешностей чувствительности гигрометров на большой влажности при ходе на понижение (1) и повышение (2) влажности по опытам 1949—1950 гг.

Считаем необходимым отметить, что на практике трудно будет осуществить установленное нами время выдержки на больших влажностях, так как за это время не всегда удастся насыщенный парами объем гигростата довести до более низкой влажности. Исходя из этих соображений, рекомендуем сократить до

20 мин. время выдержки при поверке гигрометров на всех точках по влажности против 30 мин., которые требуются в настоящее время. В таком случае при поверке гигрометров до 30% относительной влажности получится экономия во времени для всего цикла поверки на 2 часа.

Результаты поверки гигрометров до 10% относительной влажности и анализ полученных материалов привели также к выводу о нецелесообразности их поверки до этого предела по следующим причинам.

При условии увеличения времени выдержки на более высоких по влажности точках основные характеристики гигрометров при поверке до 10% относительной влажности не выходят за пределы точности поверки до 30% относительной влажности и при 30-минутной выдержке, так как пребывание волоса на столь низкой влажности приводит к потере на некоторое время чувствительности гигрометров. В процессе поверки это явление обнаруживается не только при переходе от 10% относительной влажности к 20-ной, где оно наиболее резко выражено, но и на последующих точках. Гигрометры некоторое время, порядка 10—15 мин., меняют свои показания всего на 1,2% при переходе на другую точку, в то время как при поверке до 30 и 20% относительной влажности этого явления не наблюдалось. Последствие пребывания гигрометров на низкой влажности сказывается на высоких влажностях резким увеличением показаний, отчего отрицательные поправки достигают значительной величины.

Указанное обстоятельство вместе с трудностями достижения в гигростате такой низкой влажности, особенно при повышенной влажности окружающей среды, не позволяет рекомендовать поверку гигрометров до 10% относительной влажности.

Выводы

Полученные результаты определения погрешностей поверки гигрометров по принятой методике и с некоторыми изменениями, изложенными в тексте, приводят к следующим выводам.

1. Погрешность поверки гигрометров обуславливается в основном точностью самих гигрометров.

2. Средняя квадратичная погрешность в определении поправок к показаниям гигрометров составляет $\pm 2\%$ относительной влажности по всей шкале гигрометра и одинакова при ходе влажности на понижение и повышение.

3. Средняя квадратичная погрешность в определении разности поправок на одних и тех же точках при ходе на понижение и повышение влажности одна и та же на всех участках шкалы и составляет $\pm 1\%$ относительной влажности.

4. Средняя квадратичная погрешность в определении общей чувствительности составляет $\pm 0,03$.

Принятый при поверке допуск, характеризующий общую чувствительность гигрометра, меньшую нормальной (5% относительной влажности), близок к наименьшему допуску, который можно было бы установить на основании полученных значений погрешностей поверки. Допуск, принятый в поверке для случая, когда общая чувствительность гигрометра больше нормальной (10% относительной влажности), расширен, что следует считать целесообразным, так как чувствительность гигрометров со временем уменьшается.

5. Средняя квадратичная погрешность в определении чувствительности гигрометров на большой влажности (в интервале 100—90%) неодинакова при ходе на понижение и повышение влажности: в первом случае она составляет $\pm 0,31$, во втором $\pm 0,22$, что в процентах от нормальной чувствительности (1,00) составит 31 и 22%.

Принятый допуск на чувствительность гигрометров в интервале влажности 100—90% составляет 0,50 и близок к двойной средней квадратичной погрешности, полученной по экспериментальным данным. Несмотря на большую величину этого допуска, можно считать, что он характеризует прибор, а его большая величина

видетельствует о том, что в лабораторных условиях при принятом методе поверки олоос на большой влажности не может дать большего постоянства.

6. Из полученных величин погрешностей следует, что при контрольной перепроверке гигрометров его основные характеристики должны укладываться в установленные допуски.

7. Точность поверки гигрометров при сокращенном времени выдержки их на отдельных точках по влажности не ниже точности поверки при 30-минутной выдержке, принятой в настоящее время. Исходя из этого, следует считать целесообразным сократить время выдержки приборов на всех точках по влажности до 10 мин. Это даст экономию во времени на 2 часа для всего цикла поверки.

8. Не целесообразно поверять гигрометры до более низких пределов, чем 30% относительной влажности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Срезневский Б. И. О влажности. Отд. оттиск из Трудов съезда по улучшению отечественных лечебных местностей, вып. 6, П., 10/1, 1915.
2. Кедров Иванский В. Н. Метеорологические приборы. Гидрометеиздат, 1947.
3. Руководство по поверке метеорологических и аэрологических приборов. Гидрометеиздат, 1949.
4. Handbuch der Meteorologischen instrumente und ihrer Auswertung. 1935. Herausg. v. Kleinschmidt.
5. Гольцман М. И. Основы методики аэрофизических измерений. Гос. изд. технико-теорет. лит. Москва — Ленинград 1950.

И. Е. ВОРОБЬЕВ

К ВОПРОСУ МЕТОДИКИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ПУСТЫННЫХ СТАНЦИЯХ

Существующая методика наблюдений над метеорологическими элементами для отдельных районов Советского Союза (пустынные, горные и другие) не всегда применима.

Для выяснения степени применимости принятой методики наблюдений в пустынных районах методическим отделом Главной геофизической обсерватории с 9/X по 14/XI 1948 г. была проведена экспедиция в пустыню Кара-Кум.

В экспедиции принимали участие младший научный сотрудник ГГО И. Е. Воробьев и старший техник С. С. Пасадский.

Для наблюдений была выбрана метстанция Ербент, расположенная в центре такыра (засохший глинозем) размером 1000×800 м, опоясанного полукilометровым кольцом барханных холмов, высота которых в отдельных точках достигает 25 м.

В числе вопросов, подлежащих выяснению, были:

- 1) уточнение методики наблюдений над влажностью воздуха на пустынных станциях;
- 2) сравнимость наблюдений по аспирационному психрометру и психрометру в будке;
- 3) применимость „Международного атласа облаков“ для наблюдения над облаками.

Уточнение методики наблюдений над влажностью воздуха психрометром в будке шло по линии исследований различных способов обвертывания и смачивания батиста, а также нахождения наилучшего времени отсчета после смачивания. С этой целью в течение 37 дней, наряду с обычным способом обвертывания и смачивания батиста, применяемым в летнее время, были применены: дополнительное смачивание обычного длинного батиста за 30 мин. до срока наблюдений, обвертывание трикотажем в виде чулка, короткий батист, смачивающийся посредством жгута, подрезанный батист в один слой, подрезанный батист в два слоя. Из всех указанных выше способов три первых не дали сколько-нибудь отличных результатов от принятой методики обвертывания и смачивания термометра, тогда как последние два оказались наиболее применимыми в условиях пустыни.

Наблюдения производились в обычной психрометрической будке, в которой на специальном штативе были размещены два психрометра и два гигрометра.

Расстояние между смоченными термометрами было 3 см. Время от времени смоченные термометры менялись местами. Чередовалась и последовательность отсчетов по психрометрам.

Применение подрезанного однослойного батиста

(обычное зимнее обвертывание батиста)

Сравнительные наблюдения при указанном способе обвертывания производились по двум психрометрам и двум гигрометрам.

Смоченный термометр одного психрометра (№ 1) имел длинный батист и обычную тягу влаги из стаканчика, а у другого психрометра (№ 2) имел подрезанный

однослойный батист (зимняя установка), который по мере высыхания смачивался, для чего резервуар термометра погружался на 2—3 сек. в стаканчик с водою.

Наблюдения проводились сериями в ночные, утренние, дневные и вечерние часы. Отсчеты по всем приборам, после смачивания подрезанного батиста, производились в следующей последовательности: на 3, 5, 7, 10, 15, 20-й минуте и дальше через каждые 5 мин., пока подрезанный батист не начинал высыхать. После этого он вновь смачивался, и время отсчетов шло в той же последовательности, как указано выше.

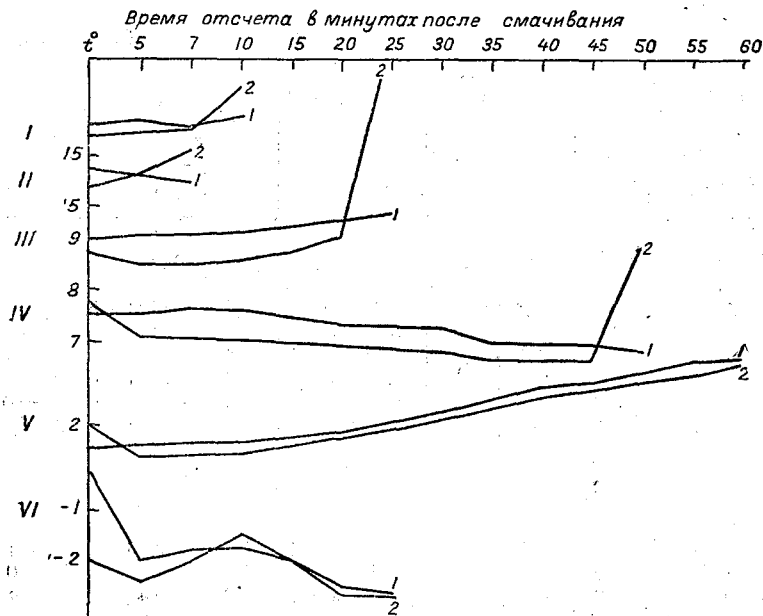


Рис. 1. График хода температуры по смоченному термометру:

1 — длинный батист, 2 — подрезанный батист.
 I — 13/X 12 ч. 30 м. при $t^{\circ} = 35,0^{\circ}$, $r = 3\%$, $v = 5-6$ м/сек.; II — 13/X 12 ч. 40 м.;
 III — 13/X 7 ч. 40 м. при $t^{\circ} = 20,0^{\circ}$, $r = 10-15\%$, $v = 3-4$ м/сек.; IV — 17/X 18 ч.
 при $t^{\circ} = 15,0^{\circ}$, $r = 25\%$, $v = 2-3$ м/сек.; V — 18/X 7 ч. при $t^{\circ} = 5,0^{\circ}$, $r = 50\%$
 $v = 3-4$ м/сек.; VI — 22/X 6-7 ч. при $t^{\circ} = 0,0^{\circ}$, $r = 50\%$, $v =$ штиль.

Результаты наблюдений приведены в табл. 1 и 2.

В табл. 1 приведены данные о времени наступления стационарной температуры по смоченному термометру, имеющему подрезанный однослойный батист.

Таблица 1

Время в минутах с момента смачивания подрезанного батиста	3	5	7	10
Число случаев с устойчивой температурой по смоченному термометру, имеющему подрезанный батист	58	76	23	2

В том числе:

при температурах воздуха до 20° (в $\%$)	25	45	25	5
при температурах воздуха свыше 20° (в $\%$)	50	40	10	—

Из таблицы видно, что время наступления устойчивой температуры по смоченному термометру с подрезанным батистом в 85% от общего числа случаев пришлось на 3—5 мин. после смачивания, причем с повышением температуры воздуха этот интервал сокращается.

На рис. 1, дополняющем табл. 1, показана зависимость от условий погоды не только интервала времени между моментом смачивания батиста и наступлением устойчивой температуры, но и продолжительности времени, в течение которого устойчивая температура держится.

Так, например, 13/X в 7 час. 30 мин. при температуре 20°, влажности 10—15% и скорости ветра 3—4 м/сек. стационарная температура установилась на 5-й минуте и держалась она 15 мин., а того же числа в 12 час. 30—40 мин. при температуре 35°, влажности 3% и скорости ветра 5—6 м/сек. стационарная температура установилась уже на первой минуте и держалась она в одном случае 6 мин., в другом случае 2 мин. и т. д.

В табл. 2 приведены средние и крайние величины разностей между показаниями психрометра с длинным батистом и показаниями психрометра с подрезанным однослойным батистом.

Таблица 2

На какой минуте произведен отсчет	Средняя разность			Максимальная разность					
	t	e	r	t		e		r	
				от	до	от	до	от	до

При температуре воздуха 0—20°

5	0,1	0,2	1	0,6	-0,4	1,0	-0,3	5	-2
7	0,2	0,2	2	0,5	-0,1	0,8	-0,1	6	-2
10	0,2	0,2	2	0,5	-0,1	0,8	-0,2	6	-1
15	0,2	0,2	2	0,6	-0,3	0,9	-0,4	6	-4
20	0,2	0,2	2	0,5	-0,4	0,8	-0,5	6	-6

При температуре воздуха >20°

5	0,2	0,4	1	0,6	-0,1	1,1	-0,2	3	-1
7	0,2	0,4	1	0,6	0,0	1,1	0,0	4	0
10	0,2	0,3	1	0,5	-0,2	0,9	-0,4	3	-1
Средняя из всех отсчетов	0,2	0,2	1(2)	0,6	-0,4	1,1	-0,5	6	-6

Из таблицы видно, что температура по смоченному термометру с длинным батистом несколько завышена по сравнению с температурой, полученной по термометру с подрезанным батистом.

Психрометр с подрезанным батистом дает большую разность между показаниями сухого и смоченного термометров ($t - t_1$). Объясняется это тем, что при указанной установке, благодаря отсутствию стаканчика с водой и лоскута батиста, исключаются излишки водяного пара, образующегося вокруг резервуара термометра, и подток тепла за счет поступающей воды, имеющей более высокую температуру по сравнению с температурой смоченного термометра.

Следовательно, основываясь на указанном анализе приведенных данных, можно сделать заключение, что показания психрометра с подрезанным батистом более близки к действительному состоянию влажности воздуха, чем показания психрометра, имеющего длинный батист.

Применение подрезанного двухслойного батиста

Сравнительные наблюдения при указанном способе обвертывания производились по двум психрометрам и двум гигрометрам.

Смоченный термометр одного психрометра (№ 1) имел длинный батист и обычную тягу влаги из стаканчика. Смоченный термометр другого психрометра (№ 2) имел подрезанный двухслойный батист. Обвертывание резервуара осуществлялось следующим образом. Стандартный лоскут батиста укорачивался на 2 см. После

этого батист, увлажненный дистиллированной водой, накладывался на резервуар термометра не вдоль, как обычно, а поперек, благодаря чему резервуар оказывался обернутым в два слоя. Закреплялся батист двумя нитяными петлями наверху — у горловины термометра, а внизу — под самим резервуаром. Излишняя нижняя кромка батиста обрезалась на расстоянии 2 мм от нити.

Наблюдения проводились так же, как и в первом случае. Результаты наблюдений приведены в табл. 3, 4, 5 и 6.

В табл. 3 приведены данные температуры по смоченному термометру с подрезанным двухслойным батистом при различных температурных и погодных условиях.

Таблица 3

Время в минутах с момента смачивания подрезанного батиста	3	5	7	10	15
Число случаев устойчивой температуры по смоченному термометру, имеющему подрезанный двухслойный батист	17	44	17	11	1

В том числе:

при температуре воздуха до 20° (в 0/0)	13	49	20	17	1
при температуре воздуха свыше 20° (в 0/0)	35	48	17	—	—

Из таблицы видно, что время наступления устойчивой температуры по смоченному термометру с подрезанным двухслойным батистом в 89% от общего числа случаев приходится на 3—7 мин. после смачивания батиста. Так же как и в первом случае, интервал времени между моментом смачивания и наступлением устойчивой температуры сокращается с повышением температуры.

В табл. 4 приведены средние и крайние разности между показаниями психрометров с длинным и подрезанным батистом, полученные для каждого срока наблюдений при температурах до 20° и свыше 20°.

Таблица 4

На какой минуте отсчет	Средняя разность			Максимальная разность					
	t	e	r	t		e		r	
				от	до	от	до	от	до

При температуре воздуха 0—20°

5	0,1	0,2	1	0,5	-0,3	0,8	-0,5	4	-4
7	0,2	0,3	2	0,5	0,0	0,8	0,0	4	0
10	0,2	0,3	2	0,5	0,0	0,8	0,0	5	0
15	0,2	0,3	2	0,5	0,0	0,8	0,0	5	0
20	0,2	0,3	2	0,5	-0,1	0,7	-0,2	5	-1

При температуре воздуха 20,1—32°

3	0,4	1,0	2	0,8	-0,6	2,4	-1,1	4	-4
5	0,8	1,4	4	1,3	0,6	2,1	1,0	8	3
7	0,8	1,5	4	1,2	0,6	2,4	1,2	6	3
10	0,7	1,3	4	0,8	0,6	1,6	1,1	5	3
15	0,6	1,1	3	0,9	0,4	1,8	0,7	5	2

Из таблицы видно, что по смоченному термометру с длинным батистом температуры получаются более высокими, чем по термометру с подрезанным двухслойным батистом, и что с повышением температуры воздуха возрастают и разности между показаниями указанных термометров. Кроме того, с повышением температуры воздуха сокращается продолжительность устойчивой температуры по смоченному термометру с подрезанным батистом. Так, например, если при темпе-

ратуре до 20° одни и те же разности между психрометрами № 1 и № 2 пришлось на время с 7 мин. по 20 мин., то при температуре воздуха свыше 20° они пришлось с 5 мин. по 10 мин. При этом следует отметить идентичность средних величин разностей при температурах до 20° с величинами разностей, приведенными в табл. 2.

На время наступления устойчивой температуры термометра с подрезанным батистом и ее продолжительность, а кроме того на величину разности между показаниями обычного смоченного термометра и смоченного термометра с подрезанным батистом оказывают влияние также режим ветра и влажность воздуха.

В табл. 5 приведены средние и крайние величины разностей между показаниями тех же психрометров на третьей минуте при различных температурах и различных скоростях ветра.

Таблица 5

	Разности при температуре воздуха											
	до 20°						от 20,1 до 32°					
	при штиле			при ветре ≥ 2 м/сек.			при штиле			при ветре ≥ 2 м/сек.		
	t	e	r	t	e	r	t	e	r	t	e	r
Средние разности . . .	-0,6	-0,9	-8	-0,1	-0,1	0	-0,5	-0,8	-3	0,6	1,1	3
Максимальные разности:												
от . . .	-1,5	-2,4	-24	-0,8	-1,1	-11	-0,6	-1,1	-4	0,8	1,6	4
до . . .	-0,1	-0,2	-1	0,	0,7	4	-0,4	-0,6	-2	-0,1	-0,2	-1

Сопоставление приведенных в таблице данных, относящихся к наблюдениям при штиле и при ветре, показывает, что с увеличением скорости ветра интервал времени с момента смачивания до начала устойчивой температуры по смоченному термометру с подрезанным батистом сокращается. Так, например, если при штиле и температуре воздуха до 20° средняя разность между смоченными термометрами получилась -0,6°, то при ветре она уменьшилась до -0,1°. При температуре воздуха свыше 20° на 3-й минуте после смачивания наблюдались уже устойчивые температуры.

Таблица 6

На какой минуте произведен отсчет	Влажность, %											
	0—15			16—30			31—45			46—60		
	t	e	r	t	e	r	t	e	r	t	e	r
5	0,7	1,4	4	0,3	0,4	2	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0
7	0,8	1,5	4	0,3	0,5	2	0,1	0,2	1	0,1	0,1	2
10	0,7	1,3	4	0,3	0,5	2	0,1	0,2	1	0,1	0,2	3
15	0,6	1,1	3	0,3	0,5	2	0,1	0,2	1	0,1	0,2	2
20	—	—	—	0,2	0,4	2	0,1	0,2	1	0,2	0,2	3

В табл. 6 приведены средние разности между показаниями психрометров, полученные для каждого срока наблюдений при относительной влажности воздуха 0—15, 16—30, 31—45, 45—60%.

Из таблицы видно, что с понижением относительной влажности сокращается время наступления устойчивой температуры по смоченному термометру и увеличивается погрешность в наблюдениях над влажностью по принятому способу.

В дополнение к таблицам на рис. 2 иллюстрирован рост разностей в показаниях между смоченными термометрами и время наступления и продолжительность устойчивой температуры при различных погодных условиях.

Из рис. 2 и анализа данных, приведенных в табл. 3—6, видно, что по смоченному термометру, имеющему подрезанный двойной батист, не следует делать отсчеты ранее 5 и позднее 15 мин.

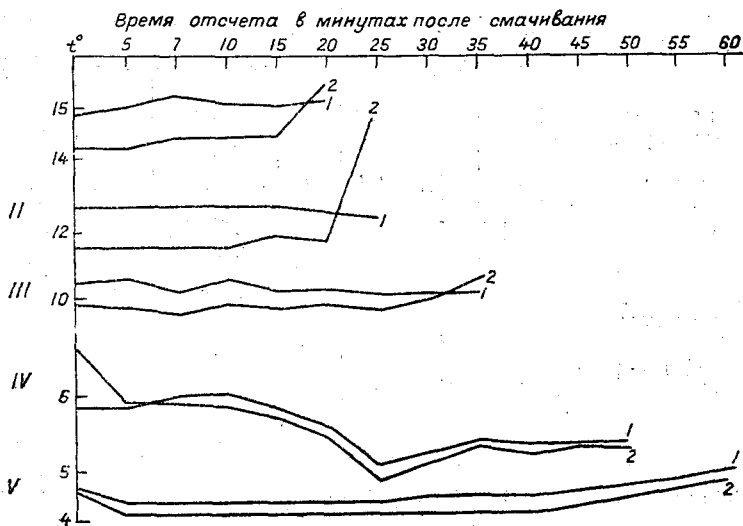


Рис. 2. График хода температуры по смоченному термометру.

1 — длинный батист, 2 — подрезанный батист.
 I — 25/X 14—15 ч. при $t^{\circ} = 31,0^{\circ}$, $r = 4\%$, $v = 4$ м/сек.; II — 24/X 16—17 ч. при $t^{\circ} = 25,0^{\circ}$, $r = 5\%$, $v = 5$ м/сек.; III — 11/XI 14—15 ч. при $t^{\circ} = 20,0^{\circ}$, $r = 15\%$, $v = 5-6$ м/сек.; IV — 9/XI 18—19 ч. при $t^{\circ} = 10,0^{\circ}$, $r = 35\%$, $v =$ вначале штиль, потом 2 м/сек.; V — 25/X 6—7 ч. при $t^{\circ} = 10,0^{\circ}$, $r = 30\%$, $v = 4$ м/сек.

Сравнительные наблюдения по аспирационному психрометру и психрометру в будке

Сравнительные наблюдения по аспирационному психрометру и психрометру в будке имели целью сопоставить наблюдения по психрометрам в условиях пустыни. За основной прибор был принят аспирационный психрометр; показания по психрометру в будке приводились к показаниям аспирационного психрометра.

Аналогичная работа проводилась в 1912 г. С. Охлябинным на станции Байрам-Али (окраина пустыни Кара-Кум, имеющая поливные участки и древесную растительность) [1].

С. Охлябинин сравнивал показания аспирационного психрометра с показаниями психрометров, установленных в будках различных конструкций. В ночные часы исследования он не производил.

Для наблюдений аспирационный психрометр устанавливался на специальном столбе, на расстоянии 5 м от будки. Резервуары термометров находились на той же высоте, что и резервуары термометров в будке. Сравнительные наблюдения проводились в 1 час, в 6—8 час., в 12—14 час. и в 18—19 час.

Отсчеты по всем приборам производились через каждые полчаса, при этом в срочные часы (1, 7, 13 и 19) отсчеты по аспирационному психрометру производились два раза. Первый трехкратный отсчет (с интервалами 20 сек.) производился за минуту до отсчета в будке и повторный — после отсчета психрометра в будке. Результаты наблюдений приведены в табл. 7.

Из таблицы видно, что разности в показаниях между сухим термометром аспирационного психрометра и сухим термометром психрометра в будке зависят от ветрового режима и времени суток.

Таблица 7

	Утро			День			Вечер		Ночь	
	Скорости ветра на уровне будки, м/сек.									
	0-1	2-3	≥ 4	0-1	2-3	≥ 4	0	≥ 1	0	≥ 1
Средние разности между показаниями сухого термометра (аспирационный психрометр—психрометр в будке)	-0,3	-0,1	0,1	-0,8	0,1	0,4	0,4	-0,1	0,7	-0,1
Максимальные разности:										
от	-1,9	-0,7	0,7	—	0,9	1,5	—	-0,8	—	-0,9
до	0,4	0,3	-0,3	-2,6	-0,8	-0,4	0,9	0,3	1,2	0,3
Количество произведенных наблюдений	29	61	53	24	49	130	10	38	5	33
Число случаев совпадающих показаний, %	25	18	36	4	2	8	10	21	0	40
Число случаев (‰) с разностями в ±0,1°	20	36	25	0	32	15	0	37	0	33

С увеличением скорости ветра показания психрометра в будке в утренние и дневные часы от завышенных переходят к заниженным, а в вечерние и ночные часы — наоборот. При одном и том же ветровом режиме разности не остаются постоянными, а меняются в течение суток. При этом в штилевую погоду показания психрометра в будке в утренние и дневные часы выше, чем показания аспирационного психрометра, а в вечерние и ночные часы — наоборот.

В ветреную погоду (≥ 4 м/сек.) наблюдается обратная картина: в утренние и дневные часы показания в будке занижены, а в вечерние и ночные часы завышены.

Разность между показаниями психрометров зависит также и от температуры воздуха.

Таблица 8

Температура воздуха	Средние разности независимо от времени суток			Средняя разность без учета ветра
	штиль	ветер 2-3 м/сек.	ветер ≥ 4 м/сек.	
10	-0,2	-0,1	0,2	0,0
15	-0,3	0,0	0,3	0,1
20-30	-0,4	0,0	0,3	0,2

В табл. 8 приведены средние разности, сведенные по градациям скорости ветра и температуры воздуха.

Из таблицы видно, что чем выше температура воздуха, тем больше разность между показаниями сухих термометров. Если при температуре воздуха 10° средняя

разность получилась равной $-0,2^\circ$, а без учета ветрового режима $0,0^\circ$, то при 25° она уже увеличилась: в первом случае до $-0,4^\circ$; во втором случае до $0,2^\circ$, т. е. в два раза.

На изменение разности в основном сказывается нагрев будки в утренние часы и ее охлаждение ночью, а также различные условия аспирации и турбулентного обмена. Изменение разностей между психрометрами в зависимости от ветрового режима и времени суток наиболее наглядно показано на рис. 3.

Одновременно со сравнением температур по психрометрам производилось сравнение относительной влажности, вычисленной по этим психрометрам. С целью контроля суточного хода влажности, а также для выяснения работы гигрометра в условиях пустыни были привлечены наблюдения по волосному гигрометру.

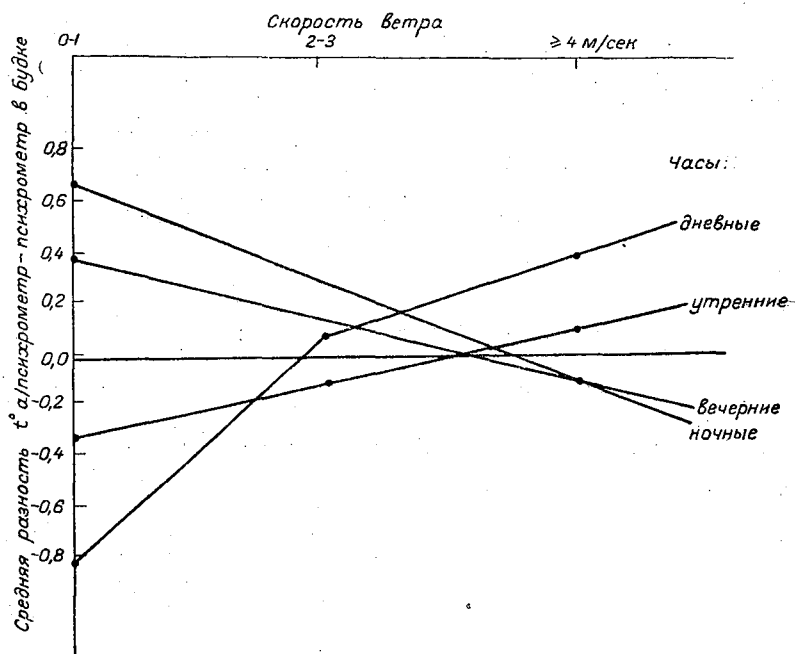


Рис. 3. Ход разностей температуры аспирационного психрометра — психрометра в будке в зависимости от ветрового режима и времени суток.

В табл. 9 приведены средние разности между показаниями психрометров в зависимости от ветрового режима.

Таблица 9

Скорость ветра на уровне будки, м/сек.	Аспирация внутри будки, м/сек.	Количество наблюдений	Число совпадающих показаний	Сумма расхождений с		Средние разности между аспирационным психрометром — психрометром в будке
				положительным знаком	отрицательным знаком	
Штиль	0,0	41	0	0	340	-8
1	0,4	21	2	7	74	-3
2	0,6	92	5	28	226	-2
3	0,8	99	19	65	136	-1
4	1,1	88	13	86	68	0
5	1,4	47	6	82	33	1
6	1,8	53	3	100	50	1
7—11	2—3	24	2	75	0	3

Из таблицы видно, что влажность по психрометру в будке сравнительно с влажностью по аспирационному психрометру получилась завышенной при скоростях ветра на уровне будки до 2 м/сек. и заниженной при скоростях ветра от 7 м/сек. и выше.

Указанные отклонения влажности, получаемые в результате существующей методики обработки, можно было бы исключить, если учесть аспирацию в будке.

На основании исследований и теоретических расчетов установлено, что при определении влажности воздуха психрометром в будке для относительной влажности в 30% получаются погрешности: при аспирации 0,2 м/сек. — минус 6%, при аспирации 3 м/сек. — плюс 3% [2]. Эти погрешности получаются благодаря тому, что не учитывается аспирация внутри будки.

Если сравнить указанные погрешности со средними разностями, приведенными в последней графе табл. 9 для аспирации 0,0 и 2—3 м/сек., то увидим полную согласованность расчетных данных с наблюдаемыми. Это показывает, что вопрос об учете аспирации при вычислении влажности воздуха в пределах точности уже разрешен и таблицы поправок на аспирацию могут быть использованы.

Разности, полученные при скоростях ветра 3—6 м/сек. в отличие от разностей при скоростях ветра 0—2 и 7 м/сек. и выше, имеют различный знак (+ или -). Это показывает, что при скоростях ветра 3—6 м/сек. сумма погрешностей, состоящая из погрешности на неоднородность термического поля внутри будки и погрешностей, связанных с методом наблюдений, во многих случаях перекрывает величину погрешности на аспирацию.

На разности влажности между психрометрами, так же как и на разности температуры, сказывается суточный ход метеорологических элементов и наличие будки.

В табл. 10 приведены средние разности между величинами относительной влажности, полученными по аспирационному психрометру и психрометру в будке, в зависимости от времени суток и ветрового режима (при влажности воздуха 30—40%).

Таблица 10

	Величины средних разностей, %			
	утро	день	вечер	ночь
При штиле (0—1 м/сек.)	-7	-5	-10	-9
При скорости ветра 2—3 м/сек.	-1	-2	-3	0
При скорости ветра \geq 4 м/сек.	1	1	3	1
Независимо от ветра	-1	0	-3	-1

Из таблицы видно, что при штиле наибольшие разности (-10; -9%) между показаниями психрометров падали на вечерние и ночные часы. Для дневных часов разности получились наименьшими. При умеренных и свежих ветрах наибольшие разности получились в вечерние часы, а при слабых скоростях ветра и в дневные часы, т. е. для времени суток, когда наблюдается наибольшая порывистость ветра. Наличие суточного хода разностей подтверждается и сравнением показаний психрометров с гигрометром.

В табл. 11 приведены сводные данные средних разностей между показаниями аспирационного психрометра, психрометра в будке и показаниями гигрометра применительно к времени суток и ветровому режиму.

Из таблицы видно, что разности между показаниями аспирационного психрометра и гигрометра в течение суток получились одного и того же порядка, за исключением утренних часов, когда показания гигрометра являются завышенными, так как волос, растянувшийся в дневные часы вследствие малой относительной влажности, за ночь не успевает притти в нормальное состояние.

Средние же разности между показаниями психрометра в будке и гигрометра получились не однородными. Наименьшие разности наблюдаются при штиле в утренние и дневные часы и при ветре — в вечерние. Таким образом, и здесь виден тот же суточный ход разности, который был отмечен и в табл. 10.

Таблица 11

	Величины средних разностей, ‰			
	утро	день	вечер	ночь
Аспирационный психрометр минус показания гигрометра	-10	-8	-7	-7
Психрометр в будке минус показания гигрометра:				
при штиле	-2	-1	4	5
при ветре	-9	-8	-5	-7
независимо от ветра	-9	-8	-4	-5

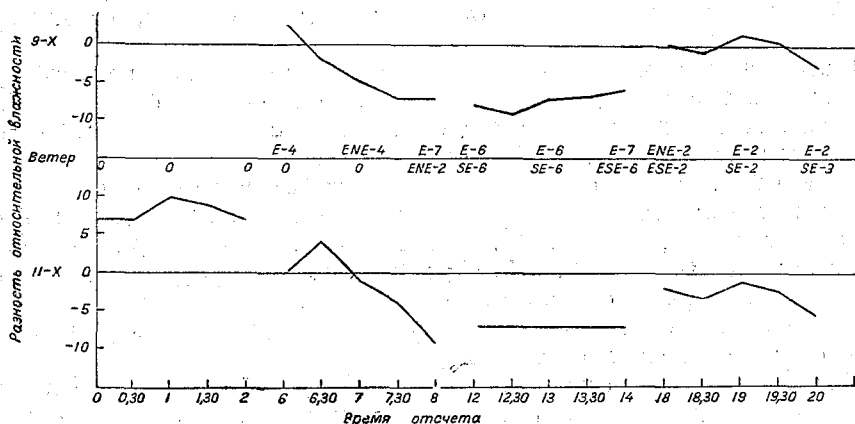


Рис. 4. График суточного хода разностей относительной влажности (психрометр в будке минус гигрометр).

Суточный ход разности между относительной влажностью по данным показаний психрометра в будке и гигрометра особенно хорошо виден на рис. 4, где показан ход разности по наблюдениям за 9 и 11/X.

Применимость „Международного атласа облаков“ (изд. 1940 г.) при наблюдениях над облачностью на пустынных станциях

Для выяснения изменения облачного покрова в условиях пустыни и возможности быстрого и правильного подбора соответствующих фотографий в атласе облаков были проведены наблюдения над облачностью. Наблюдения начинались с момента появления облаков над станцией и проводились без перерыва до полного их исчезновения.

Ежечасно в книжку наблюдений заносились данные о количестве, форме облаков, а также и соответствующие пояснительные замечания. Когда форма облаков сильно отличалась от форм, приведенных в атласе и пояснительном тексте к нему, или к наблюдаемым формам вообще было невозможно подобрать фотографии в атласе, но облака были интересны по своему виду, то, кроме обычной записи, облака зарисовывались и фотографировались, а также давалось подробное их описание. Материал наблюдений показывает, что из 16 дней с облачностью более 5 баллов 10 дней были с неустойчивыми формами облаков. В эти дни как отдель-

ные участки облачного покрова (детали), так и вид неба в целом все время сильно видоизменялись, что препятствовало их обстоятельной зарисовке и описанию. В числе этих 10 дней 9 дней были с такой облачностью, формы которой не приведены в атласе облаков. Таким образом, дней, в которые легко было определять формы облачного покрова, пользуясь атласом, было всего 6, т. е. только 40% от общего числа случаев наблюдаемые формы облаков могли быть подтверждены ссылками на фотографии атласа облаков. В остальное время наблюдаемые формы облачности определялись интуитивно и подтверждались лишь зарисовками, фотографированием и пояснениями к ним.

На основании этих материалов можно сделать следующее заключение:

1. Наблюдаемая облачность одновременно характеризовалась:

- а) большим разнообразием форм по всем ярусам;
- б) крайней неустойчивостью вида облачного покрова в целом и его отдельных элементов;
- в) наличием свисающих полос падения осадков, не достигающих земли для самых различных форм облаков и их разновидностей;
- г) наличием вуали под отдельными участками облачного покрова от распада отдельных облачных элементов и от полос падения осадков, не достигающих земли.

2. Иллюстративная часть „Международного атласа облаков“ не могла в полной мере служить исчерпывающим руководством при определении форм облаков.

При сопоставлении наблюдения над облачностью с наблюдениями прочих метеорологических элементов установлено, что:

1. Облачный покров, сильно видоизменяющийся в течение короткого времени как в целом, так и в отдельных своих деталях, наблюдался в 7 случаях при падении давления, росте или постоянстве температуры и устойчивой относительной влажности (порядка 30—50%); в 3 случаях — при росте давления, падении температуры и росте относительной влажности.

В первом случае наблюдались облака верхнего и среднего ярусов, во втором случае — облака среднего и нижнего ярусов.

2. Облачный покров, совсем не изменяющийся или мало видоизменяющийся в течение короткого времени как в целом, так и в отдельных своих деталях, наблюдался в 4 случаях — при падении давления, росте или постоянстве температуры и устойчивой относительной влажности; в 2 случаях — при росте давления, падении температуры и росте относительной влажности (или ее неизменном ходе).

В первом случае наблюдались облака верхнего и среднего ярусов (3 дня) и среднего и нижнего ярусов (1 день), т. е. облака тех ярусов, которые наблюдались в предшествующий день. Во втором случае наблюдались облака нижнего яруса.

Из приведенного можно заключить, что облака, мало меняющиеся по внешнему виду, в основном наблюдались после того, как предшествующие облака претерпевали бурное изменение, длившееся в течение нескольких дней.

Выводы

Работы, проведенные экспедицией в пустыне песков Кара-Кум, показали, что методика метеорологических наблюдений на пустынных станциях требует уточнения.

I. По наблюдениям над влажностью воздуха

1. С целью повышения качества наблюдения за счет улучшения смачиваемости батиста, предохранения его от быстрого загрязнения и уменьшения расхода дистиллированной воды смоченный термометр психрометра следует обвертывать подрезанным батистом в один или два слоя. Однослойный батист следует применять при устойчивых температурах до $+20^{\circ}$ (в дневные часы), двухслойный — при устойчивых температурах свыше 20° .

2. Смачивать подрезанный батист следует перед началом отсчета так же, как в переходный период при наступлении низких температур, но не за 30 мин., а за 10 мин. до срока наблюдения.

3. Отсчет по термометрам следует производить два раза — на 5-й и 10-й минуте после смачивания. Для вычисления влажности брать тот отсчет, по которому получилась наибольшая разность между сухим и смоченным термометрами ($t - t_1$).

4. При применении на станции аспирационного психрометра и при замене его данными показаний психрометра в будке или при сравнении данных психрометров между собой необходимо учитывать время суток, ветровой режим и температуру воздуха.

5. При сравнении влажности воздуха, вычисленной по данным психрометра в будке, с данными по гигрометру необходимо учитывать ветровой режим и время суток.

При замене показаний психрометра в будке показаниями гигрометра, для вывода поправки к последнему, необходимо брать данные психрометра и гигрометра, относящиеся только к тому времени суток и ветровому режиму, при которых производится замена показаний.

6. При обработке влажности воздуха по данным психрометра в будке при штиле и скоростях ветра выше 5 м сек. следует учитывать аспирацию в будке. С этой целью при больших скоростях необходимо ввести дополнительные наблюдения над скоростью ветра на уровне будки.

II. По наблюдениям над облачностью

7. В связи с тем, что иллюстрации существующего на сети атласа облаков не могут в достаточной степени служить руководством к правильной оценке разнообразия облачных форм, которое наблюдается в пустынных районах, „Международный атлас облаков“ (изд. 1940 г.) необходимо дополнить фотографиями общего вида неба, присущего пустынным районам; фотографиями отдельных форм облаков и их разновидностей, а также пояснительным текстом к ним.

8. До тех пор, пока на пустынных станциях при наблюдении над облачным покровом будут руководствоваться „Международным атласом облаков“ (изд. 1940 г.), результаты этих наблюдений можно считать ориентировочными.

ЛИТЕРАТУРА

1. О х л я б и н и н С. Сравнение английских клеток (будок) различных вариантов с психрометром Ассмана. Изв. АН, 1912 г.
2. Щ е р б а к о в а Л. Ф. Скорости движения воздуха внутри психрометрической будки и их влияние на точность измерения влажности. Труды Научно-исслед. учред., сер. 1, вып. 23, 1946 г.

К ВОПРОСУ МЕТОДИКИ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ НАД ВЛАЖНОСТЬЮ ВОЗДУХА

Работами ГГО по определению величин погрешностей измерения температуры воздуха в психрометрической будке было установлено, что при существующей методике наблюдений на гидрометстанциях средняя погрешность измерения температуры воздуха составляет $0,2^\circ$ значительный процент погрешностей достигает $\pm 0,3-0,5^\circ$, а в отдельных случаях $1,0^\circ$.

Наличие таких погрешностей допускает возможность производства наблюдений над температурой воздуха при существующем методе не до $0,1^\circ$, а грубее.

Такое огрубение отсчетов имеет определенный практический смысл. Данные этих наблюдений будет легче обрабатывать, тогда как результаты обработки останутся одинаковыми.

Еще в 1937 г. З. М. Прик [1] показала, что вычисления средних значений температуры воздуха по наблюдениям, произведенным с точностью как до $0,1^\circ$, так и при округлении их до $0,5^\circ$, дают почти одинаковые результаты. Так, например, при вычислении средних месячных температур для двух станций (Сестрорецк и Николаевская), по округленным и неокругленным данным, средние декадные и месячные температуры воздуха никогда не отличались более чем на $\pm 0,1^\circ$.

Вся дальнейшая обработка, проведенная по округленным и неокругленным данным, показала также вполне удовлетворительные результаты.

В соответствии с этим уже в то время возникали вопросы, связанные с рационализацией существующих методов наблюдений и обработки, исходя из точности этих наблюдений. Указанные вопросы, однако, не получили разрешения, так как не были еще известны погрешности существующего метода наблюдений. Кроме того, вызывал сомнение тот факт, что существующая точность наблюдений над температурой воздуха в психрометрической будке (до $0,1^\circ$) требовалась для определения влажности воздуха, особенно при температурах, близких к 0° .

Еще до окончания работы над определением погрешности существующего метода наблюдений над влажностью воздуха, исходя из полученных И. В. Смирновой данных о погрешностях метода измерения температуры воздуха, мы задались целью определить, насколько может сказаться на вычислении абсолютной и относительной влажности воздуха измерение температуры воздуха, произведенное с точностью до $0,5^\circ$.

С этой целью в 1950 г. были вычислены средние величины абсолютной и относительной влажности по станциям Ташкент и Павловск (ГГО) за один год по данным сухого и смоченного термометров с округлением до $0,5^\circ$.

В табл. 1 приведены среднemesячные значения абсолютной и относительной влажности, выведенные за каждый срок по действительным и округленным данным.

Из таблицы видно, что средние, вычисленные по округленным и неокругленным данным, весьма близки между собой и не превышают для Ташкента по абсолютной влажности с IX по IV месяцы $0,0 - \pm 0,1$ мб, а с V по VIII $\pm 0,2 - \pm 0,3$ мб; для Павловска для всех месяцев $0,0 - \pm 0,2$ мб.

Таблица 1

Среднемесячные значения абсолютной и относительной влажности
по действительным и округленным данным для Павловска

Месяц и срок наблюдений	Влажность				Разность	
	по данным таблиц		по округленным данным		абс.	отн.
	абс.	отн.	абс.	отн.		
Апрель						
7	5,5	84	5,4	83	0,1	1
13	5,2	58	5,3	58	-0,1	0
21	5,4	80	5,4	79	0,0	1
Среднее	5,4	74	5,4	73	0,0	1
Май						
7	7,9	68	7,9	68	0,0	0
13	7,7	50	7,8	51	-0,1	-1
21	8,0	71	8,1	72	-0,1	-1
Среднее	7,5	63	7,6	64	-0,1	-1
Июнь						
7	10,6	72	10,6	72	0,0	0
13	10,1	54	10,2	55	-0,1	-1
21	11,0	78	11,1	78	-0,1	0
Среднее	10,6	68	10,6	68	0,0	0
Июль						
7	12,7	79	12,8	79	-0,1	0
13	12,4	58	12,3	57	0,1	1
21	12,5	80	12,7	80	-0,2	0
Среднее	12,5	72	12,6	72	-0,1	0
Август						
7	14,3	87	14,4	88	-0,1	-1
13	13,5	57	13,6	57	-0,0	0
21	14,4	87	14,4	87	0,0	0
Среднее	14,1	77	14,1	77	0,0	0
Сентябрь						
7	10,2	95	10,2	94	0,0	1
13	10,5	74	10,5	73	0,0	1
21	10,3	93	10,4	92	-0,1	1
Среднее	10,3	87	10,4	86	-0,1	1
Октябрь						
7	6,8	92	6,8	91	0,0	1
13	6,8	74	6,9	74	0,0	0
21	6,7	87	6,7	88	0,0	-1
Среднее	6,8	88	6,8	88	0,0	0
Ноябрь						
7	6,3	91	6,3	90	0,0	1
13	6,3	83	6,3	82	0,0	1
21	6,0	87	6,0	87	0,0	0
Среднее	6,2	87	6,2	86	0,0	1

Таблица 1а

Среднемесячные значения абсолютной и относительной влажности по действительным и округленным данным для Ташкента

Месяц и срок наблюдений	Влажность				Разность	
	по данным таблиц		по округленным данным		абс.	отн.
	абс.	отн.	абс.	отн.		
Январь						
7	4,3	84	4,3	83	0,0	1
13	—	—	—	—	—	—
21	4,7	85	4,8	85	-0,1	0
Среднее	—	—	—	—	—	—
Февраль						
7	4,9	77	5,0	78	-0,1	-1
13	6,1	61	6,2	60	-0,1	1
21	5,8	78	5,8	78	0,0	0
Среднее	5,6	72	5,7	72	-0,1	0
Март						
7	7,1	76	7,1	76	0,0	0
13	6,8	57	6,8	56	0,0	1
21	7,4	77	7,5	77	-0,1	0
Среднее	7,1	70	7,1	70	0,0	0
Апрель						
7	9,1	67	9,2	67	-0,1	0
13	—	—	—	—	—	—
21	9,9	66	10,0	67	-0,1	1,0
Среднее	—	—	—	—	—	—
Май						
7	14,0	68	14,0	68	0,0	0
13	14,1	50	14,2	51	-0,1	-1
21	14,2	71	14,4	72	-0,2	-1
Среднее	14,1	63	14,2	64	-0,1	-1
Июнь						
7	14,9	72	15,1	72	-0,2	0
13	12,7	54	13,0	55	-0,3	-1
21	13,3	78	13,4	78	-0,1	0
Среднее	13,6	68	13,8	68	-0,2	0
Июль						
7	14,5	57	14,7	56	-0,2	-1
13	13,7	31	13,7	31	0,0	0
21	14,5	50	14,5	50	0,0	0
Среднее	14,2	46	14,3	46	-0,1	0
Август						
7	12,2	55	12,3	56	-0,1	-1
13	—	—	—	—	—	—
21	11,9	48	12,1	49	-0,2	-1
Среднее	—	—	—	—	—	—

Месяц и срок наблюдений	Влажность				Разность	
	по данным таблиц		по округленным данным		абс.	отн.
	абс.	отн.	абс.	отн.		
Сентябрь						
7	16,2	61	16,3	61	0,1	0
13	—	—	—	—	—	—
21	10,2	57	10,3	57	-0,1	0
Среднее	—	—	—	—	—	—
Октябрь						
7	6,7	74	6,8	74	-0,1	0
13	7,1	44	7,1	44	0,0	0
21	7,2	69	7,1	68	0,1	1
Среднее	7,0	63	7,0	63	0,0	0
Ноябрь						
7	4,8	91	4,8	90	0,0	1
13	5,2	83	5,2	82	0,0	1
21	5,4	87	5,4	87	0,0	0
Среднее	5,1	87	5,1	86	0,0	1
Декабрь						
7	3,8	95	3,9	96	0,0	-1
13	4,5	92	4,5	93	0,0	-1
21	4,2	93	4,1	92	0,1	1
Среднее	4,2	93	4,2	94	0,0	1

По относительной влажности округленные и неокругленные данные в течение круглого года не отличаются более чем на $\pm 1\%$. Несколько иначе обстоит вопрос с величинами разностей для абсолютной и относительной влажности, вычисленными по округленным и неокругленным данным. Ниже приводится табл. 2 максимальных отклонений, вычисленных по округленным данным для каждого месяца.

Таблица 2

Влажность	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Павловск абс., мб	—	—	0,5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,8	0,5	0,5	—	—
отн., %	—	—	9	9	5	5	4	5	6	9	—	—
Ташкент абс., мб	0,5	0,4	0,5	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,5	0,5	0,5
отн., %	9	8	7	6	5	3	3	4	5	6	6	9

Из табл. 2 видно, что максимальные отклонения отдельных величин абсолютной и относительной влажностей, вычисленные по округленным данным, могут значительно отличаться от значений этих величин, вычисленных по неокругленным данным, причём абсолютные значения отклонений для абсолютной влажности наблюдаются в летние, а для относительной в осенние и зимние месяцы.

Следует, однако, учесть, что процент повторяемости больших отклонений сравнительно невелик. В табл. 3 и 4 приведены повторяемости (в процентах) отдель-

ных разностей абсолютной и относительной влажностей, вычисленные по округленным и табличным данным из наблюдений, произведенных во все сроки.

Таблица 3

Повторяемость (%) отдельных разностей абсолютной влажности

Месяцы	Абсолютная влажность, мб																	
	0,0		0,1		0,2		0,3		0,4		0,5		0,6		0,7		0,8	
	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т
I	—	19	—	32	—	26	—	19	—	2	—	2	—	—	—	—	—	—
II	—	23	—	41	—	22	—	13	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
III	14	28	33	31	30	25	18	12	4	2	1	1	—	—	—	—	—	—
IV	24	10	35	34	19	27	13	19	7	8	1	1	—	1	—	—	—	—
V	23	10	32	21	20	24	11	17	9	13	5	7	—	—	—	—	—	1
VI	18	15	24	33	27	18	19	15	6	14	4	2	1	1	1	—	—	—
VII	14	12	32	21	23	24	18	21	4	10	8	6	1	3	—	2	—	1
VIII	14	10	23	29	22	18	13	17	11	11	10	10	5	2	1	2	1	1
IX	18	12	28	25	33	28	16	13	4	16	1	4	—	1	—	1	—	—
X	18	16	39	33	22	21	12	20	8	9	1	1	—	—	—	—	—	—
XI	—	16	—	35	—	23	—	18	—	7	—	1	—	—	—	—	—	—
XII	—	23	—	34	—	26	—	10	—	6	—	1	—	—	—	—	—	—

Примечание. П — Павловск, Т — Ташкент.

Таблица 4

Повторяемость (%) отдельных разностей относительной влажности

Месяцы	Относительная влажность, %																			
	0		1		2		3		4		5		6		7		8		≥9	
	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т	П	Т
I	—	7	—	18	—	23	—	16	—	10	—	9	—	9	—	4	—	2	—	2
II	—	14	—	33	—	25	—	14	—	5	—	3	—	3	—	2	—	1	—	—
III	7	23	20	32	13	21	7	13	13	6	12	2	10	2	9	1	7	—	2	—
IV	15	31	23	38	22	19	18	7	7	2	3	2	5	1	3	—	3	—	1	—
V	31	28	32	40	20	19	12	12	4	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—
VI	25	45	35	43	23	11	13	1	3	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
VII	21	28	43	51	22	18	9	3	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
VIII	25	27	38	48	22	17	8	7	5	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
IX	17	30	31	42	22	17	16	6	8	4	5	—	1	1	—	—	—	—	—	—
X	21	22	18	25	19	24	15	17	9	6	6	4	8	2	2	—	2	—	1	—
XI	—	17	—	25	—	22	—	16	—	7	—	8	—	4	—	1	—	—	—	—
XII	—	16	—	17	—	18	—	22	—	12	—	6	—	6	—	1	—	1	—	1

Примечание. П — Павловск, Т — Ташкент.

Как видно из табл. 3 для абсолютной влажности в теплые месяцы, для обоих пунктов от 75 до 95% всех случаев разностей, полученных по округленным и неокругленным данным, не превышает 0,3 мб. Для относительной влажности разности в 3% для того же периода составляют 95—100% случаев, а разности в 2% составляют 83—92% случаев. В осенние и весенние месяцы, когда наблю-

даются отрицательные температуры, процент больших отклонений для абсолютной влажности еще более сокращается. Так, по обоим пунктам отклонения в 0,3 мб составляют 92—99%, а отклонение в 0,4 мб — 99—100%. Для относительной же влажности процент больших отклонений возрастает.

Как видно из помещенной в настоящем сборнике статьи К. Д. Лебедевой и С. А. Смирнова [2], преобладающие величины погрешностей наблюдений над влажностью воздуха существующим методом, т. е. с проведением отсчета по термометрам с точностью до 0,1°, составляли для абсолютной влажности 0,4 мб, для относительной влажности — 2—3%. Эти же величины укладываются и в пределы значений, вычисленных по округленным данным. Отсюда можно сделать вывод, что благодаря большим погрешностям измерений влажности воздуха существующим методом практически с достаточной точностью можно производить обработку влажности по термометрам, отсчитанным с точностью до 0,5°.

Ясно, что подобная точность совершенно не удовлетворит специальные наблюдения, связанные, например, с вопросами изучения физики приземного слоя воздуха, но такие наблюдения требуют и иной методики.

ЛИТЕРАТУРА

- Прик З. М. О точности наблюдений и обработки температуры. Метеорология и гидрология, № 2, 1937.
- Лебедева К. Д. и Смирнов С. А. Погрешности и существующие методы измерения температуры и влажности воздуха в психрометрической будке. (В настоящем сборнике).

О МЕТОДИКЕ НАБЛЮДЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ СНЕГА

Наблюдения над температурой поверхности снега являются частью комплекса наблюдений над температурой почвы. В настоящее время эти наблюдения на сети станций производятся с помощью стеклянных спиртовых и ртутных термометров, горизонтально положенных на снег и погружаемых [согласно указаниям „Наставления гидрометстанциям и постам“, вып. 3, ч. 1 (§ 244)] в него до половины. Однако этот способ наблюдений не во всех случаях дает хорошие результаты.

В практике работы гидрометстанций, особенно высокогорных, наблюдаются случаи, когда термометры, установленные на поверхности снега, как при положительной, так и при отрицательной температуре воздуха показывают высокую положительную температуру ($+12^{\circ}$ и выше). Весьма часто, особенно в ясные солнечные дни, три термометра (срочный, максимальный и минимальный), установленные, согласно „Наставлению“, рядом, показывают различную температуру, что затрудняет использование данных по этим термометрам. В некоторых местных УГМС существует убеждение, что во всех случаях положительных показаний термометров истинная температура поверхности снега будет равна нулю градусов и что независимо от показаний термометров эту температуру следует отмечать в книжке наблюдений.

Для выяснения причины искажения показаний термометров на поверхности снега весной 1950 г. были произведены наблюдения на опытной площадке методического отдела ГГО.

Исходя из условий работы гидрометстанций и требований упомянутого „Наставления“ к установке напочвенных (на поверхности снега) термометров, были поставлены следующие задачи:

- а) выяснить, насколько надежными являются наблюдения над температурой поверхности снега при существующей установке термометров;
- б) найти такой способ установки термометров, при котором они давали бы наиболее близкие к действительным значения температуры;
- в) выяснить причину высоких положительных показаний термометров на поверхности снега и проверить справедливость мнения, что в этих случаях температура поверхности снега равна 0° .

При постановке наблюдений было предположено, что причиной высоких положительных показаний термометров на поверхности снега является отсутствие теплообмена между термометром и снегом.

В самом деле: термометр, лежащий на снегу, показывает свою собственную температуру, которая может отличаться от температуры снега. Если не учитывать прямую теплоотдачу в окружающий воздух, условия которой для термометра и для снега почти одинаковы, то эта собственная температура явится результатом установившегося равновесия между лучистым притоком тепла к термометру (нагревание солнцем), отдачей тепла путем излучения и отдачей или притоком тепла путем теплообмена со снегом.

Для ясного солнечного дня этот процесс приближенно можно изобразить следующей схемой:

$$Q_I = Q_i + Q_S,$$

где Q_I — лучистый приток тепла к термометру, Q_i — отдача тепла излучением, Q_S — отдача (приток) тепла путем теплообмена со снегом.

В ясную ночь лучистый приток тепла незначителен; отдача тепла излучением компенсируется притоком тепла из снега. Схема преобразуется следующим образом:

$$Q_I = Q_i + (-Q_S).$$

В общем виде, для ясного дня и ночи устойчивые показания термометра возможны при следующем равновесии:

$$Q_I = Q_i + (\pm Q_S).$$

Путем аналогичных рассуждений можно построить совершенно такую же схему и для поверхности снега (до момента достижения ею температуры 0°). Q_S в этом случае будет обозначать тепло, притекающее из нижележащих слоев снега.

Очевидно, что вследствие неравенства поглощательной и излучательной способностей термометра и снега собственная температура термометра будет отличаться от температуры поверхности снега. Днем, при максимуме лучистого притока тепла, собственная температура термометра будет всегда выше температуры поверхности снега. Ночью, когда лучистый приток тепла незначителен, а потеря тепла излучением довольно велика, собственная температура термометра может быть даже ниже температуры поверхности снега. В пасмурную погоду эти различия сглаживаются, и собственная температура термометра приближается к температуре поверхности снега.

Приведенная схема справедлива для случая идеального контакта между термометром и поверхностью снега, когда теплообмен между ними ничем не нарушен. В этом случае различие температуры самого термометра и поверхности снега определяется только их различной поглощательной и отражательной способностью и не достигает значительной величины.

Если в приведенной выше схеме исключить Q_S , то для достижения равновесия лучистый приток тепла должен уравновешиваться отдачей тепла излучением — Q_i , а это возможно лишь при определенной температуре, отличной от температуры поверхности снега. До момента достижения этой температуры термометр будет все время повышать свои показания.

Для проверки этого предположения были установлены 5 термометров:

1) срочный термометр — установлен так, как устанавливаются термометры на сети станций: горизонтально положен на снег и до половины погружен в него. Установка поправлялась после срока наблюдений, как принято обычно в практике;

2) термометр на поверхности снега — установлен так же, как и первый термометр, но перед каждым наблюдением установка поправлялась и обеспечивался надежный контакт с поверхностью снега;

3) термометр под снегом — установлен тоже горизонтально, но резервуар термометра сверху присыпан снегом. Снег сверху слегка уплотнялся;

4) минимальный термометр — установлен по стандарту;

5) срочный термометр — выносился из помещения и устанавливался за 10 мин. до наблюдения.

Кроме того, была испробована установка термометра на высоте 2 см над снегом, но от нее пришлось немедленно отказаться, так как термометр давал высокие показания, никак не связанные с температурой поверхности снега.

Наблюдения производились с 27/II по 31/III 1950 г. В первый период (с 27/II по 16/III) наблюдения велись при отрицательной температуре. Температура воз-

духа колебалась от $-16,5$ до $-1,6^{\circ}$ (по наблюдениям в психрометрической будке); температура поверхности снега колебалась от $-15,8$ до $-3,3^{\circ}$ (по наблюдениям по термометру № 3 под поверхностью снега).

В этот период температура поверхности снега в пасмурные дни довольно близко следовала за температурой воздуха, отличаясь от нее на $1,0-1,5^{\circ}$. В дни с ветром отклонение было еще меньше.

В пасмурные дни расхождение в показаниях различно установленных термометров было незначительным ($\pm 0,1 - \pm 0,3^{\circ}$), что подтверждает исходные предположения.

В ясные дни температура поверхности снега быстро повышалась в первой половине дня, намного обгоняя рост температуры воздуха (на $4-6^{\circ}$), и так же

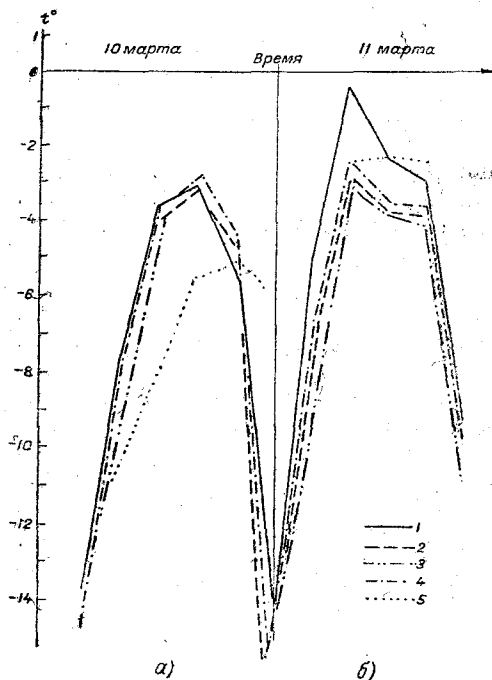


Рис. 1. Ход температуры поверхности снега по показаниям различно установленных термометров (морозный период).

1 — срочный термометр № 1, стандартная установка, 2 — термометр № 2 на поверхности снега, 3 — температура воздуха, 4 — термометр № 5, устанавливаемый за 10 мин. до момента отсчета, 5 — термометр № 3 под поверхностью снега.

10 мин.), дававшие отклонения не более $0,5^{\circ}$. Описанная картина хорошо видна на рис. 2.

Нужно указать, что обтаивание снега вокруг термометров происходило настолько быстро, что даже у термометра, установленного за 10 мин. до срока наблюдений, к моменту отсчета уже наблюдалось частичное подтаивание, термометр неплотно прилегал к поверхности снега и начинал повышать свои показания. Термометры, установленные аналогично стандартной установке, применяемой на гидрометстанциях, и специально не поправлявшиеся перед отсчетом (чего и не требуется от наблюдателей станций), оказывались совершенно вытаявшими, иногда даже теряли горизонтальное положение и давали завышенные показания, ничего общего не имеющие с температурой поверхности снега.

Лучшие результаты во время снеготаяния дала установка термометра под поверхностью снега (термометр № 3 — резервуар присыпан снегом), однако рекомендовать этот способ для применения на сети станций трудно, так как он тре-

резко падала после полудня (рис. 1, а). Показания термометров обычно сравнительно близко совпадали друг с другом, различаясь на $0,4-0,6^{\circ}$, причем срочный термометр № 1 быстрее других изменял свои показания.

В отдельные ясные дни показания срочного термометра резко отличались от показаний всех других термометров (рис. 1, б). В эти дни установка срочного термометра тщательно осматривалась и во всех без исключения случаях было обнаружено, что термометр неплотно прилегает к поверхности снега вследствие некоторого оседания частиц снега около него.

Во второй период (с 16/III по 31/III) наблюдения велись при положительной температуре воздуха и интенсивном снеготаянии. Температура воздуха колебалась от $-2,7^{\circ}$ до $+7,4^{\circ}$, причем преобладала положительная температура. Температура поверхности снега как в пасмурные, так и в ясные дни почти во всех случаях равнялась 0° .

Показания всех термометров резко различались между собой, причем какой-либо закономерности в отклонениях выявить не удалось. Лучше других следовали за температурой поверхности снега термометр № 3 (присыпанный снегом) и термометр № 5 (устанавливаемый за

зует большого навыка, исключительной тщательности и легко может дать несравнимые материалы.

В результате проделанной работы удалось установить, что:

во-первых, в дни с отрицательной температурой воздуха (ниже $-3,0^{\circ}$) рекомендуемая „Наставлением“, вып. 3, ч. 1, § 244 установка термометров позволяет производить измерение температуры поверхности снега с требуемой точностью. Совершенно обязательным условием надежности этих наблюдений является проверка правильности установки термометров во время обхода метплощадки за 30 мин. до срока наблюдений;

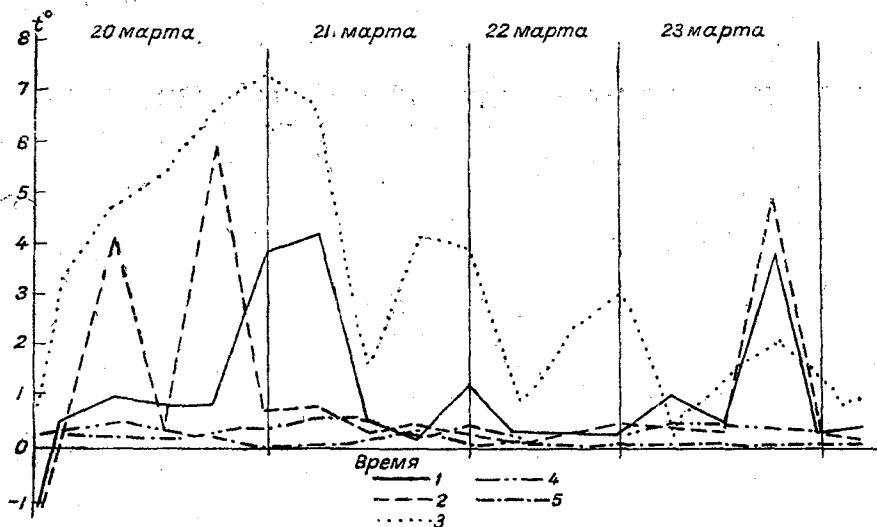


Рис. 2. Ход температуры поверхности снега по показаниям различно установленных термометров (период снеготаяния).

1 — срочный термометр № 1, стандартная установка, 2 — термометр № 2 на поверхности снега, 3 — температура воздуха по наблюдениям в психрометрической будке, 4 — термометр № 5, устанавливаемый за 10 мин. до отсчета, 5 — термометр № 3 под поверхностью снега.

во-вторых, в дни с температурой воздуха от $-3,0^{\circ}$ и выше надежно измерять температуру поверхности снега можно только при условии особо тщательной установки термометров на ненарушенном участке снежного покрова не более чем за 10 мин. до момента отсчета;

в-третьих, причиной высоких положительных показаний термометров, установленных на поверхности снега, является нарушение теплообмена со снегом вследствие вытаивания термометров или вследствие укрупнения частиц снега.

При высоких положительных показаниях термометров на поверхности снега, отмечавшихся на сети станций, истинная температура поверхности не обязательно равняется 0° , но может быть и отрицательной.

К МЕТОДИКЕ ПРОСМОТРА НАБЛЮДЕНИЙ НАД ТЕМПЕРАТУРОЙ ПОЧВЫ НА МАЛЫХ ГЛУБИНАХ

Выявление ошибок, вызванных невнимательностью наблюдателя, недоброкачеством термометров или неправильной их установкой, при просмотре месячных таблиц с наблюдениями над температурой почвы на глубинах до 20 см часто бывает затруднительно. Опыт приемки этих материалов показывает, что в большинстве УГМС специалисты не доводят анализ почвенных таблиц до конца и оставляют без внимания существенные ошибки, вызывающие подчас браковку данных по отдельным термометрам за несколько месяцев и даже лет.

Конечным результатом обработки наблюдений над температурой почвы является составление и опубликование годовых выводов по ним, поэтому после проведения технического контроля месячных таблиц необходимо до начала критического просмотра заполнить соответствующие графы в годовых выводах и провести анализ декадных и месячных величин на каждой глубине по их годовому ходу.

Такой порядок просмотра позволит своевременно выявить и забраковать величины, отклоняющиеся из-за ряда ошибок систематического характера и принять меры к их устранению.

В дополнение к руководству по обработке метеорологических наблюдений и подготовке ежегодников (ч. II, 1948 г.) нами рекомендуются следующие приемы анализа, помогающие выявить ошибки в наблюдениях.

Построение подекадных термоизоплет почвы

Термоизоплеты надо строить по среднедекадным величинам за каждый срок наблюдения, так как такой способ построения позволяет выявить истинную картину смены в течение суток двух типов распределения тепла в почве: инсоляционного и излучения, наблюдающегося в течение всего теплого периода года.

При построении графика глубины располагаются сверху вниз в масштабе: 1 см на графике равняется 5 см в натуре. По горизонтальной оси месяц за месяцем и декада за декадой выписываются средние по каждому сроку наблюдения за 1, 7, 13 и 19 часов. Средняя за декаду минимальная температура на поверхности почвы выписывается над 7-часовым, а средняя максимальная — над 13-часовым сроками. Их надо принимать во внимание при вычерчивании изоплет.

Графики строятся на листах миллиметровой бумаги с таким расчетом, чтобы поместить на одном листе данные за весь теплый период наблюдений (для северных районов 7—8 месяцев). Для южных районов можно строить два графика — за теплый и холодный периоды года отдельно.

Станции располагаются одна под другой и группируются по сходным типам почв или по районам.

Способ построения изоплет изложен на стр. 40 „Руководства по обработке“. Изолинии достаточно проводить через 2°, беря их через 1° только в отдельных

омнительных случаях. Для облегчения графической интерполяции температур применяется номограмма (рис. 1).

Пользование номограммой поясним на примере: желая проинтерполировать температуру 20° в III декаде за 13 час. между глубинами 15 и 20 см (рис. 2).

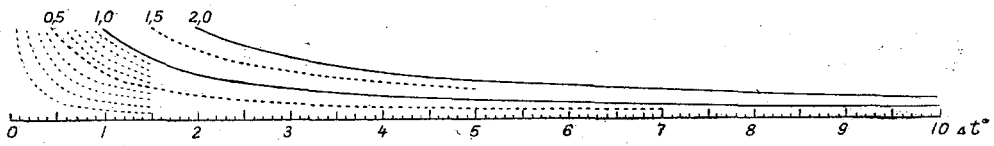


Рис. 1. Номограмма для интерполяции термоизоплет почвы.

отложим по горизонтальной линии номограммы разность температуры между этими глубинами, равную $1,5^{\circ}$, и, поднявшись от этой точки вверх до пересечения с пунктирной линией, соответствующей $0,6^{\circ}$, найдем отрезок прямой в 4 мм, на который точка с температурой в 20° отстоит от точки $20,6^{\circ}$.

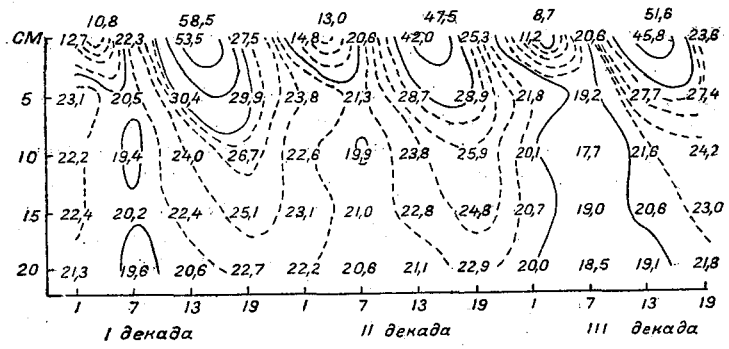


Рис. 2. Термоизоплеты по станции Гош (Хабаровская УГМС) за июль 1949 г.

При нормальном распределении термоизоплеты представляют систему кривых с плавным ходом (без резких выпуклостей, искривлений, без отдельных замкнутых кривых), расположенных гуще в поверхностных слоях почвы и реже по мере возрастания глубин.

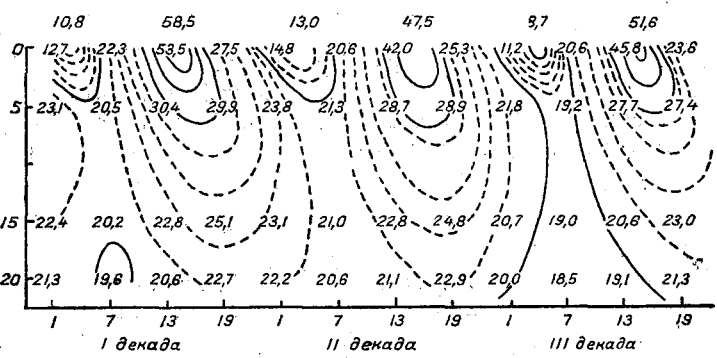


Рис. 3. Термоизоплеты по станции Гош, построенные после исключения данных на глубине 10 см.

На рис. 2 приводятся термоизоплеты по станции Гош, построенные по данным месячных таблиц.

При просмотре в УГМС специалист забраковал показания термометра на глубине 15 см, однако анализ графика показывает, что нарушение плавного хода

кривых вызвано показаниями термометра на глубине 10 см. На рис. 3 изображены термоизоплеты по той же станции, построенные после исключения данных на глубине 10 см.

Как видно из рисунка, после исключения этих данных кривые принимают плавный ход. Интерполяция по этому графику данных для глубин 10 см показывает, что во все сроки интерполированные величины отличаются от наблюдаемых примерно на $1,5^{\circ}$. Очевидно, имеет место смещение шкалы у термометра или неправильное определение точки 0° . Кроме того, из рис. 3 видно, что термометр на глубине 5 см несколько углублен, что обнаруживается ненормальной сгущенностью изоплет в верхней части графика.

Несмотря на то, что применение этого метода может несколько удлинить время, затрачиваемое на обработку (так как выписка на график подекадных данных требует около 10 мин., а построение изоплет — около 40 мин. на каждую станцию), однако накопление этого материала из месяца в месяц облегчает специалисту как текущий просмотр наблюдений, так и последующий просмотр ежегодников.

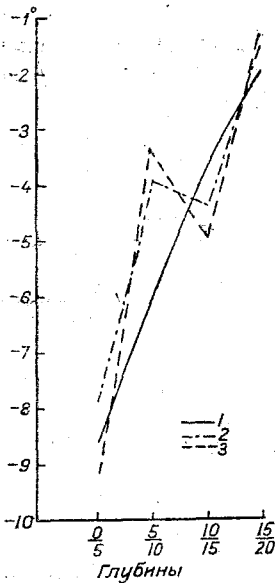


Рис. 4. Градиенты температуры почвы в 13 час. по станции Свободный. Июль 1949 г.

1 — I декада, 2 — II декада, 3 — III декада.

Выписка градиентов температуры по глубинам

Изменение температуры почвы с глубиной удобнее всего анализировать с помощью градиентов. По каждой станции выписываются декадные и месячные градиенты температуры почвы за каждый срок (выписка по каждой станции занимает около 15 мин.).

Разберем для примера ход градиентов на станции Свободный Хабаровской УГМС за июль 1949 г. (табл. 1).

Распределение градиентов по глубинам в каждый срок наблюдения носит своеобразный характер и зависит от ряда причин (см. „Руководство по обработке“, стр. 21).

Наиболее характерным является распределение градиентов в 13-часовой срок, когда ярко выражен „тип инсоляции“.

Для наглядности это распределение лучше изобразить на графике (рис. 4), где на вертикальной оси откладываются градиенты в градусах, а на горизонтальной — интервалы по глубинам. На графике видно, что плавный ход градиентов, наблюдающийся в I декаде, нарушается во II и III декадах. Такое же нарушение наблюдается и в среднемесячных величинах.

Обратившись к анализу ежедневных данных в таблице, мы видим, что 13/VII термометр на глубине 10 см оказался разбитым. Новый термометр был установлен на меньшую глубину, в силу чего градиенты между 5 и 10 см оказались заниженными, а между 10 и 15 см чрезмерно завышенными.

Таблица 1

Глубины, см	I декада				II декада				III декада				Месяц			
	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19
0—5	5,3	-6,6	-8,7	4,1	5,0	-3,8	-7,8	3,4	5,8	-5,6	-9,2	4,4	5,4	-5,4	-8,6	4,0
5—10	0,4	-0,1	-6,1	-2,6	0,5	-0,1	-3,9	-1,7	1,0	0,2	-3,3	-1,0	0,6	0,1	-4,4	-1,8
10—15	-0,1	0,2	-3,6	-2,6	0,0	0,4	-4,3	-3,1	0,3	0,9	-4,9	-3,7	0,0	0,4	-4,3	-3,2
15—20	-0,6	0,0	-1,9	-2,2	-0,7	-0,3	-1,5	-1,7	-0,4	0,2	-1,3	-1,8	-0,5	0,0	-1,5	-1,9

Такую же ненормальность можно проследить и в 19-часовой срок. В ночные же сроки градиенты выражены слабо и на них неправильность установки термометра почти не отразилась.

Выписка разностей температуры почвы между сроками наблюдений

Хорошим дополнением к предыдущей таблице может служить выписка разностей температуры почвы между сроками наблюдений. Приведем данные по той же станции Свободный за июль 1949 г. (табл. 2).

Таблица 2.

Глубина, см	I декада			II декада			III декада			За месяц		
	1-7	7-13	13-19	1-7	7-13	13-19	1-7	7-13	13-19	1-7	7-13	13-19
0	10,4	14,2	-15,1	7,4	14,0	-12,7	9,8	14,7	-14,9	9,2	14,3	-14,2
5	-1,5	12,1	-2,3	-1,4	10,0	-1,5	-1,6	11,1	-1,3	-1,6	11,1	-1,6
10	-2,0	6,1	1,2	-2,0	6,2	0,7	-2,4	7,6	1,0	-2,1	6,6	1,0
15	-1,7	2,3	2,2	-1,6	1,5	1,9	-1,8	1,8	2,2	-1,7	1,9	2,1
20	-1,1	0,4	1,9	-1,2	0,3	1,7	-1,2	0,3	1,7	-1,2	0,4	1,7

Плавный ход разностей от 7 к 13 час. также нарушается после переустановки термометра на глубине 10 см.

Градиенты предельных величин температуры почвы

В дополнение к указаниям „Руководства по обработке“ (стр. 18—20) необходимо составлять карты с нанесением градиентов максимальных и минимальных температур.

При построении карты справа от точки, обозначающей пункт, наносят в две строки месячные градиенты по максимальной и минимальной температурам, а влево от нее в три строчки градиенты максимальных температур за I, II и III декады. В том и другом случаях последовательно выписывают градиенты по глубинам 0—5, 5—10, 10—15 и 15—20 см.

Для примера приведем эти данные для трех станций Хабаровского УГМС за июль 1949 г.

Гош

-25,9	-5,5	-1,6	-2,0	-15,9	-4,8	-1,6	-2,4
-22,8	-3,4	-1,6	-2,4	10,8	-0,4	1,8	-0,7
-25,6	-3,9	-1,5	-1,9				

Свободный

-11,1	-5,0	-2,9	-2,2	-19,3	-3,8	-4,4	-2,3
-19,3	-3,8	-4,4	-2,3	6,9	0,3	1,0	0,3
-13,6	-3,0	-4,2	-2,3				

Поярково

-16,3	-4,6	-3,0	-2,3	-17,0	-4,4	-1,8	-3,0
-17,3	-4,1	-2,5	-2,3	5,4	-0,2	0,5	1,5
-15,8	-3,9	-0,3	-4,8				

Анализ карты заставляет нас обратить внимание на нарушение закономерности изменения градиентов по глубинам: на станции Гош — в силу отмеченных выше дефектов по термометрам на глубине 5 и 10 см, а на станции Свободный — во II

и III декадах и за месяц, из-за неправильной установки после 13/VII термометра на глубине 10 см. На станции Поярково анализ ежедневных данных выявил просчет на 5° в III декаде по термометру на глубине 15 см, после исправления которого выборка абсолютных максимумов за III декаду и за месяц приняла нормальный вид. Неправильный же ход градиентов по минимальным температурам получился из-за загрязнения капилляра у коленчатого термометра на глубине 10 см, данные по которому пришлось забраковать.

Изложенные выше приемы анализа почвенных таблиц служат для специалиста вспомогательным материалом, дающим ему общее представление о характере распределения температуры в почве по исследуемому им району. На графиках и таблицах он подчеркивает цветным карандашом все случаи нарушений и отклонений от нормального хода распределения температур. После этого, имея перед собой все графики и таблицы, он переходит к детальному просмотру ежедневных данных по каждой станции.

Применение шаблона для просмотра ежедневных данных в почвенных таблицах

Просмотр этот удобно проводить, пользуясь шаблоном, вырезанным из плотной бумаги (рис. 5) так, чтобы при наложении его на таблицу ТМ-3 в вырезках были видны даты только одного срока наблюдений по всем глубинам. Это позволяет специалисту быстро проследить по каждому сроку изменение температуры

Станция Бирюкан Месяц Июль 1949 Год

Число	Г л у б и н ы																					
	На поверхности почвы						5 см				10 см				15 см				20 см			
	1	7	13	19	Макс.	Мин.	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19	1	7	13	19
1	12,8	18,7	50,6	26,0	50,6	10,6	18,0	16,3	30,6	24,9	19,4	16,4	22,9	23,3	18,7	16,3	18,6	20,8	17,5	15,9	16,4	18,1
2	16,2	18,7	48,3	21,2	49,1	14,0	19,0	17,5	30,8	24,6	19,7	17,8	23,0	23,6	19,0	17,2	19,0	21,2	18,1	16,6	16,9	18,6
3	46,1						30,0				23,6				19,5				17,1			

Рис. 5. Шаблон для удобства просмотра почвенных таблиц.

по глубинам, которое в основном должно соответствовать подекадному ходу градиентов на этих глубинах. Все нарушения плавного хода градиентов должны быть проанализированы с учетом погодных условий данного дня, и если они не могут быть объяснены этими условиями, то соответствующие показания термометров должны быть исправлены или забракованы.

После просмотра градиентов по глубинам прослеживают изменение хода температур на каждой глубине от срока к сроку. Этот ход должен в основном соответствовать разностям между сроками, приведенными в табл. 2.

Применение шаблона не должно сводиться к механическому просмотру таблицы, наоборот, при всяком нарушении хода градиентов специалист обязан рассмотреть отклоняющуюся величину в совокупности со всеми остальными величинами и проанализировать сопутствующие ей погодные условия (температуру и влажность воздуха, облачность, осадки, ветер, гидрометеоры и т. д.).

Все исправления, сделанные в результате анализа, переносятся в составленные ранее годовые выводы и дается окончательное заключение о их надежности.

ОБ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОПРАВОК ГИГРОМЕТРОВ

Методическим отделом ГГО для улучшения качества данных о влажности воздуха, наблюдаемой в зимнее время, был исследован вопрос о поправках гигрометров. Для этой цели были затребованы сведения о гигрометрах от всех УГМС.

Оказалось, что на всей сети станций у 30% гигрометров поправки в течение зимы 1946/47 г. изменились от 3 до 13%, а на 14% станций данные зимней влажности совершенно были забракованы из-за ненадежности гигрометров.

Известно, что основным недостатком гигрометров является непостоянство их поправок, полученных из сравнения показаний гигрометра и психрометра. При этом поверка поправок в течение зимы затруднена, поскольку наблюдения над влажностью по психрометру ведутся только до -5° [1].

Исследованием поправок гигрометров занимались в ГГО А. А. Рождественский, М. М. Клестова [2] и в последнее время А. И. Каменева. Они показали, что, в общем, постоянство поправок сохраняется только в условиях высокой и маломеняющейся влажности. Эти же авторы нашли, что при резком изменении влажности поправки возрастают. При нахождении гигрометра в условиях малой влажности в течение длительного времени увеличивается его инертность и меняются поправки (положительные поправки уменьшаются, отрицательные увеличиваются). При низких температурах увеличивается также инертность гигрометра (при температуре -20° коэффициент инерции в 9 раз больше, чем при температуре $+15^{\circ}$).

Бюро поверки до последнего времени проверяло гигрометры только при положительных температурах и при влажности воздуха не ниже 30%. Между тем, гигрометрами определяется влажность воздуха исключительно при отрицательных температурах, причем в Азиатской части Союза в зимнее время относительная влажность опускается до 8—10%. На высокогорных же станциях влажность воздуха невелика и очень изменчива (изменения в одну минуту нередко превышают 30%).

Настоящая статья имеет целью показать, как ведут себя гигрометры на станциях при низких температурах.

Автором, совместно с научным сотрудником И. И. Полкановой, были детально рассмотрены 32 графика поправок гигрометров, установленных в разных районах Союза ССР.

Графики показали, что в тех районах, где зимняя влажность велика и не очень изменчива (например, в Ленинградской области), поправки гигрометров меняются мало. В условиях малой влажности при низких температурах и резком изменении влажности, что характерно для континентальных районов страны в зимнее время, поправки могут значительно меняться.

Чтобы проследить изменение поправок во времени, за каждый месяц были вычислены средние разности показаний психрометра и гигрометра (по всей его шкале) и по ним построены графики (рис. 1).

При анализе графиков выявилось следующее.

1. В большинстве случаев наметилось резкое изменение поправок осенью и весной. Из рис. 1 видно, насколько резко отличается кривая за сентябрь от

кривых за другие месяцы. На другом графике (рис. 2) наиболее отличается кривая за апрель.

Такое сезонное изменение поправок указывает на влияние условий, в которых находится гигрометр.

При попытке установить причину перехода положительных поправок к отрицательным оказалось, что большие отрицательные поправки в октябре (рис. 1) имели место при малой влажности (см. кривую в пределах шкалы 50—46%) и при резком ее изменении (влажность уменьшалась от срока к сроку на 31—40%).

2. В преобладающем числе случаев осенние положительные поправки к весне меняют знак, а отрицательные поправки увеличиваются (рис. 2).

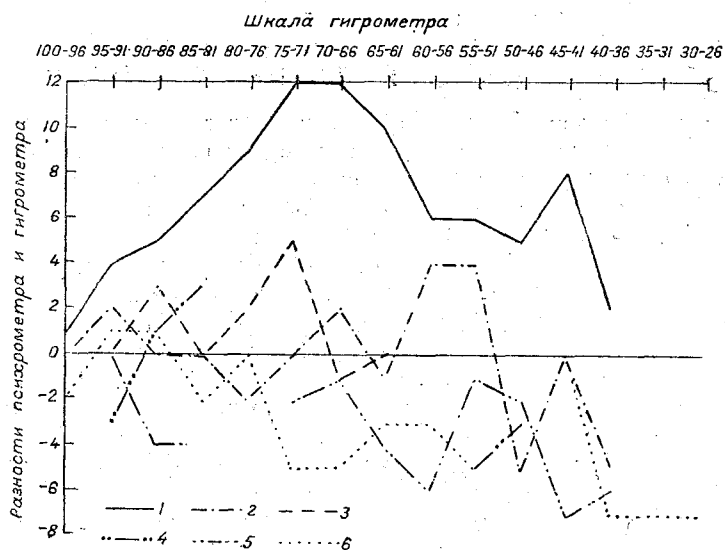


Рис. 1. График средних разностей психрометра и гигрометра в разных пределах шкалы гигрометра. Кондома 1946—1947 гг.

1946 г.: 1 — IX, 2 — X, 3 — XI; 1947: 4 — II, 5 — III, 6 — IV.

Этим подтверждается предположение о вытягивании волоса при малой влажности, а также при осадении на нем гидрометеоров. Часто резкое увеличение поправок наблюдается после обильной изморози. В отдельных случаях увеличение отрицательных поправок замечено после сильных ветров.

3. Увеличение отрицательных поправок к весне чаще наблюдается в пределах шкалы 100—90%. Наблюдается это явление также в средней части шкалы и при малых влажностях, особенно в высокогорных районах.

4. В общем можно сказать, что почти каждый гигрометр имеет свои индивидуальные особенности. Так, два гигрометра, установленные в одной будке, нередко по-разному изменяют свои поправки. Это, очевидно, зависит от гигроскопических свойств волоса и предварительной его обработки.

При работе над вопросами влажности в высокогорных районах удалось выявить очень четкую зависимость увеличения отрицательных поправок гигрометра от температуры воздуха на ст. Казбеги (высокогорная), где велись наблюдения по психрометру при температурах ниже -5° .

Зависимость поправок от температуры была настолько четкой, что нам удалось провести три кривые: 1) при температурах -5° и выше, 2) при температурах от $-5,1^{\circ}$ до $-10,0^{\circ}$ и 3) при температурах ниже $-10,0^{\circ}$ (табл. 1).

Отсутствие наблюдений по психрометру при температурах ниже -5° , к сожалению, не позволило проверить эту закономерность по большему числу гигрометров.

На основании изложенного выше можно было сделать вывод, что принятая в настоящее время методика обработки наблюдений над влажностью воздуха при

низких температурах (по волосному гигрометру), предусматривающая введение к показаниям гигрометра объединенных поправок, выведенных отдельно для осенних и весенних месяцев, не является вполне удовлетворительной.

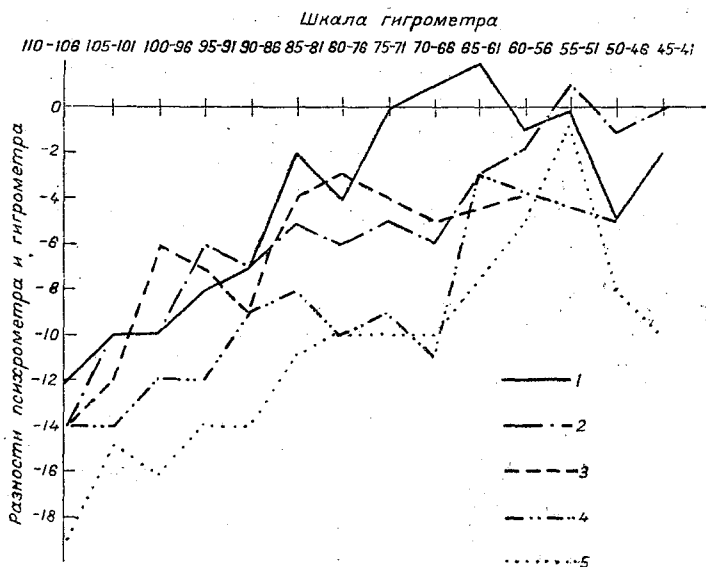


Рис. 2. График средних разностей психрометра и гигрометра в разных пределах шкалы гигрометра. Станция Ордынское 1946—1947 гг.

1946 г.: 1 — IX, 2 — X, 3 — XI; 1947 г.: 4 — III, 5 — IV.

За счет объединения меняющихся поправок нередко получались большие расхождения между весенними и осенними графиками, а самые поправки не соответствовали состоянию гигрометра в зимнее время. Такие поправки в отдельных случаях искажали средние месячные значения относительной влажности воздуха до $\pm 5\%$, причем применение поправок весеннего графика условно с января искажало и годовой ход влажности на $\pm 5\%$.

На рис. 3 наглядно показано, насколько меняются осенние и весенние поправки в зависимости от использованного периода сравнений психрометра и гигрометра. На основании анализа изменения поправок гигрометра от месяца к месяцу (рис. 2), который показал, что в данном случае не следовало использовать точки за сентябрь и апрель, для осеннего графика были взяты точки с октября по декабрь, а для весеннего — с февраля по март. В результате поправки, получен-

Таблица 1

Средние поправки гигрометра при различных температурах на высокогорной ст. Казбег (по данным графиков за VIII—XII 1938 г. и I—VI 1939 г.)

Относительная влажность по психрометру в будке, %	Средние поправки гигрометра при температуре		
	-5,0° и выше	от -5,1° до -10,1°	от -10,1° и ниже

По графику за VIII—XII 1938 г.

100	2	-3	-10
50	3	-2	-10
30	0	-6	-13

По графику за I—VI 1939 г.

100	-1	0	-16
50	-7	-6	-17
30	-7	-10	-18

ные в ГГО, уменьшились, и расхождения между осенними и весенними поправками стали значительно меньше, чем в УГМС (рис. 3).

На основании исследования изменения поправок гигрометра Методическим отделом ГГО было предложено всем УГМС при обработке зимней влажности:

1) тщательно анализировать поправки гигрометров, ежемесячно следя за их изменением;

2) не допускать объединения поправок в случае резкого их изменения осенью и весной;

3) использовать для определения поправок период, наиболее близкий к зиме, ограничиваясь в случае значительного изменения поправок более коротким сроком сравнений данных психрометра и гигрометра (до полумесяца);

4) для построения графиков использовать наблюдения по психрометру и при температурах ниже $-5,0^{\circ}$, если таковые имеются и являются надежными. Это

важно для того, чтобы максимально приблизить к зиме период сравнения гигрометра и психрометра, что особенно необходимо в районах с длинной устойчивой зимой, без оттепелей;

5) в случаях большого расхождения между поправками осеннего и весеннего графиков (4—7%) вычислять для зимы средние (между осенними и весенними) поправки, чтобы избежать искусственного скачка в годовом ходе относительной влажности [3].

Для дальнейшего улучшения методики наблюдений влажности воздуха по гигрометру при низких температурах весьма желательно содержать волос, по возможности, в одинаковых условиях (в увлажненном состоянии) и обеспечить поверку гигрометров для больших пределов шкалы.

С этой целью необходимо:

1) изготовить и распространить на сети станций предложенный В. Д. Третьяковым гигрометр с постоянным увлажнением [4].

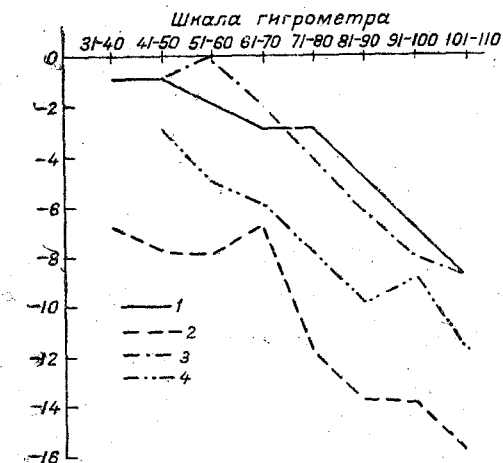


Рис. 3. График средних поправок гигрометра (осенних и весенних), вычисленных в ГГО и УГМС по ст. Ордынское за 1946—1947 гг.

1 — осенний график УГМС (16/IX—XII), 2 — весенний график УГМС (II—V), 3 — осенний график ГГО (X—XII), 4 — весенний график ГГО (II—III).

2) Бюро поверки проверять гигрометры по всей шкале (от 0 до 100%) и не только при положительной, но и при отрицательной температуре воздуха;

3) производить наблюдения по психрометру в будке до $-10,0^{\circ}$ и использовать эти наблюдения для построения графиков поправок;

4) Проверить опыт Б. Г. Иванова [5] в части поверки гигрометров на станциях в зимних условиях (в снежной камере, где поддерживается состояние насыщения относительного льда). Это желательно сделать в районе с длинным зимним периодом и резкими колебаниями влажности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 3, ч. 1, Гидрометеоздат, Ленинград, 1946.
2. Рождественский А. А. и Клестова М. М. К вопросу о гигроскопических свойствах волосного гигрометра. Климат и погода, № 11—12 (44—45), 1932.
3. Руководство по обработке метеорологических наблюдений и подготовке ежегодников, ч. I. Дополнение. Гидрометеоздат, 1950.
4. Третьяков В. Д. Волосной гигрометр с постоянным увлажнением. Климат и погода, № 5—6 (26—27), 1929.
5. Иванов Б. Г. Контроль волосного гигрометра в морозный период. Метеорология и гидрология, № 6, 1941.