

Руководство по приборам и методам наблюдений

Том I – Измерения метеорологических переменных

Издание 2021 г.

ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 8

Руководство по приборам и методам наблюдений

Том I – Измерения метеорологических переменных

Издание 2021 г.



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

РЕДАКТОРСКОЕ ПРИМЕЧАНИЕ

Терминологическая база данных ВМО «МЕТЕОТЕРМ» доступна по адресу: <https://public.wmo.int/ru/meteoterm>.

Читателям, копирующим гиперссылки, выделяя их в тексте, следует учесть, что могут появиться дополнительные пробелы, непосредственно следующие за <http://>, <https://>, <ftp://>, <mailto:>, а также за наклонными чертами (/), дефисами (-), точками (.) и неразрывными последовательностями символов (букв и цифр). Эти пробелы должны быть удалены из вставленного URL. Правильный URL отображается на экране, если навести курсор на ссылку или нажать на нее, а затем скопировать ее из браузера.

ВМО-№ 8

© Всемирная метеорологическая организация, 2021

Право на опубликование в печатной, электронной или какой-либо иной форме на каком-либо языке сохраняется за ВМО. Небольшие выдержки из публикаций ВМО могут воспроизводиться без разрешения при условии четкого указания источника в полном объеме. Корреспонденцию редакционного характера и запросы в отношении частичного или полного опубликования, воспроизведения или перевода настоящей публикации следует направлять по адресу:

Chair, Publications Board
World Meteorological Organization (WMO)
7 bis, avenue de la Paix
P.O. Box 2300
CH-1211 Geneva 2, Switzerland

Тел.: +41 (0) 22 730 84 03
Факс: +41 (0) 22 730 81 17
Э-почта: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-40008-6

ПРИМЕЧАНИЕ

Обозначения, употребляемые в публикациях ВМО, а также изложение материала в настоящей публикации не означают выражения со стороны ВМО какого бы то ни было мнения в отношении правового статуса какой-либо страны, территории, города или района, или их властей, а также в отношении делимитации их границ.

Упоминание отдельных компаний или какой-либо продукции не означает, что они одобрены или рекомендованы ВМО и что им отдается предпочтение перед другими аналогичными, но не упомянутыми или не прорекламированными компаниями или продукцией.

ТАБЛИЦА РЕГИСТРАЦИИ ВНЕСЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

[illegible]

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	xxi
------------------	-----

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	1
1.1 Метеорологические наблюдения	1
1.1.1 Общие сведения	1
1.1.2 Репрезентативность	2
1.1.3 Метаданные	3
1.2 Системы метеорологических наблюдений	4
1.3 Общие требования к метеорологической станции	4
1.3.1 Автоматические метеорологические станции	5
1.3.2 Наблюдатели	5
1.3.3 Размещение и установка приборов	6
1.3.3.1 Выбор места размещения	6
1.3.3.2 Координаты станции	8
1.3.3.3 Эксплуатация оборудования в экстремальных условиях окружающей среды	9
1.3.4 Замены приборного обеспечения и однородность показаний приборов ..	9
1.3.5 Инспекция и обслуживание	10
1.3.5.1 Инспекция станций	10
1.3.5.2 Обслуживание	10
1.4 Общие требования к приборам	11
1.4.1 Желательные характеристики	11
1.4.2 Воздействие Минаматской конвенции	12
1.4.3 Механические самописцы	12
1.5 Эталоны измерений, прослеживаемость и единицы измерения	13
1.5.1 Определения эталонов измерений	13
1.5.2 Обеспечение прослеживаемости	15
1.5.3 Условные обозначения, единицы измерения и константы	16
1.5.3.1 Условные обозначения и единицы измерения	16
1.5.3.2 Константы	17
1.6 Погрешность измерений	18
1.6.1 Метеорологические измерения	18
1.6.1.1 Общие сведения	18
1.6.1.2 Определения измерений и погрешностей измерений	18
1.6.1.3 Характеристики приборов	20
1.6.2 Источники и оценки погрешности	21
1.6.3 Погрешности измерения одного прибора	22
1.6.3.1 Статистические распределения данных наблюдений	23
1.6.3.2 Оценка действительного значения	24
1.6.3.3 Выражение погрешности	26
1.6.3.4 Измерения дискретных значений	26
1.6.4 Требования к точности	27
1.6.4.1 Общие сведения	27
1.6.4.2 Требуемая и достижимая эффективность	27
Приложение 1.A. Требования к оперативной погрешности измерений и рабочим характеристикам приборов	29
Приложение 1.B. Стратегия обеспечения прослеживаемости	40
Приложение 1.C. Региональные центры по приборам	48
Приложение 1.D. Классификации размещения площадок для станций приземных наблюдений на суше	50
Приложение 1.E. Эксплуатация оборудования в экстремальных условиях	64
Приложение 1.F. Описание установки станции	88

Приложение 1.С. Классификации качества измерений для наземных станций приземных наблюдений	90
Справочная и дополнительная литература	99

ГЛАВА 2. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ	101
2.1 Общие сведения	101
2.1.1 Определение	101
2.1.2 Единицы измерения и шкалы	101
2.1.3 Метеорологические требования	102
2.1.3.1 Общие сведения	102
2.1.3.2 Погрешность измерений	102
2.1.3.3 Инерционность	103
2.1.3.4 Регистрация условий, в которых производятся измерения	103
2.1.4 Методы измерений и наблюдений	103
2.1.4.1 Общие принципы измерений	104
2.1.4.2 Общие требования к размещению	105
2.1.4.3 Источники погрешностей — общие замечания	106
2.1.4.4 Уход за приборами — общие положения	107
2.1.4.5 Последствия Минаматской конвенции с точки зрения измерения температуры	108
2.2 Электрические термометры	108
2.2.1 Общее описание	108
2.2.1.1 Металлические термометры сопротивления	108
2.2.1.2 Термисторы	110
2.2.1.3 Термопары	112
2.2.2 Порядок проведения измерений	114
2.2.2.1 Электрические термометры сопротивления	114
2.2.2.2 Термопары	115
2.2.3 Размещение и установка	116
2.2.4 Источники ошибки	116
2.2.4.1 Электрические термометры сопротивления	116
2.2.4.2 Термопары	117
2.2.5 Сравнение и калибровка	117
2.2.5.1 Электрические термометры сопротивления	117
2.2.5.2 Термопары	118
2.2.6 Поправки	118
2.2.7 Обслуживание	119
2.3 Жидкостные стеклянные термометры	119
2.3.1 Общие положения	120
2.3.1.1 Обычные (станционные) термометры	121
2.3.1.2 Максимальные термометры	121
2.3.1.3 Минимальные термометры	121
2.3.1.4 Почвенные термометры	122
2.3.2 Порядок проведения измерений	122
2.3.2.1 Снятие показаний обычных термометров	122
2.3.2.2 Измерение минимальной температуры воздуха в травостое	123
2.3.3 Размещение и установка термометров	123
2.3.4 Источники погрешностей жидкостных стеклянных термометров	123
2.3.4.1 Погрешности упругости	124
2.3.4.2 Погрешности, вызываемые капиллярной трубкой термометра	124
2.3.4.3 Ошибки параллакса и грубые ошибки при снятии показаний	124
2.3.4.4 Погрешности, обусловленные различным расширением	125
2.3.4.5 Погрешности спиртовых термометров	125
2.3.5 Сравнение и калибровка в лабораторных условиях и в условиях эксплуатации	125
2.3.5.1 Калибровка в лабораторных условиях	125
2.3.5.2 Проверка в полевых условиях	126

	<i>Стр.</i>
2.3.6 Поправки	127
2.3.7 Обслуживание	127
2.3.7.1 Разрыв столбика жидкости	127
2.3.7.2 Нечеткость шкалы	128
2.3.8 Безопасность	128
2.4 Механические термографы	128
2.4.1 Общие положения	128
2.4.1.1 Биметаллический термограф	128
2.4.1.2 Термограф с трубкой Бурдона	129
2.4.2 Порядок проведения измерений	129
2.4.3 Размещение и установка	129
2.4.4 Источники погрешностей	129
2.4.5 Сравнение и калибровка	129
2.4.5.1 Калибровка в лабораторных условиях	129
2.4.5.2 Сравнение в условиях эксплуатации	130
2.4.6 Поправки	130
2.4.7 Обслуживание	130
2.5 Радиационные защиты	130
2.5.1 Жалюзийные будки	131
2.5.2 Другие искусственно вентилируемые средства защиты	132
2.6 Обеспечение прослеживаемости и калибровка	133
Приложение. Определение реперных точек международной температурной шкалы, принятой в 1990 году	135
Справочная и дополнительная литература	136
 ГЛАВА 3. ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ	139
3.1 Общие сведения	139
3.1.1 Определение	139
3.1.2 Единицы измерения и шкалы	139
3.1.3 Метеорологические требования	139
3.1.4 Методы измерений и наблюдений	140
3.1.4.1 Общие принципы измерений	140
3.1.4.2 Общие требования к размещению	141
3.1.4.3 Источники погрешностей: общие замечания	141
3.1.4.4 Уход за приборами: общие положения	142
3.1.4.5 Последствия Минаматской конвенции с точки зрения измерения давления	143
3.2 Электронные барометры	143
3.2.1 Емкостные датчики с переменной емкостью на основе интегральных схем	144
3.2.2 Цифровые пьезорезистивные барометры	144
3.2.3 Вибрационно-частотные барометры	145
3.2.4 Деформационные датчики с детекторами смещения	145
3.2.5 Размещение электронных барометров	145
3.2.6 Снятие показаний электронных барометров	146
3.2.7 Источники ошибки	146
3.2.7.1 Смещение в период между калибровками	146
3.2.7.2 Температура	146
3.2.7.3 Электрические помехи	147
3.2.7.4 Характер работы	147
3.3 Барометры-анероиды	147
3.3.1 Требования к конструкции	147
3.3.2 Достижимая погрешность измерения	148
3.3.3 Размещение барометров-анероидов	148
3.3.4 Снятие показаний барометров-анероидов	148
3.3.4.1 Точность снятия показаний	148
3.3.4.2 Приведения, применяемые к барометрам	148

3.3.5	Источники ошибки.	149
3.3.5.1	Неполная компенсация на температуру.	149
3.3.5.2	Погрешности упругости.	149
3.4	Барографы.	149
3.4.1	Общие требования.	149
3.4.2	Устройство барографов.	150
3.4.3	Размещение барографов.	150
3.4.4	Источники ошибки.	151
3.4.5	Снятие показаний барографа.	151
3.4.5.1	Точность снятия показаний.	151
3.4.5.2	Поправки, вводимые в показания барографа.	151
3.4.5	Транспортировка.	151
3.5	Изменение давления и барическая тенденция.	151
3.5.1	Барическая тенденция и характеристика барической тенденции.	151
3.5.2	Измерение барической тенденции.	152
3.6	Обеспечение прослеживаемости и калибровка.	152
3.6.1	Замечания общего характера.	152
3.6.2	Лабораторная калибровка.	152
3.6.2.1	Общепринятая установка оборудования.	153
3.6.2.2	Лабораторные эталонные приборы.	154
3.6.2.3	Метод калибровки.	157
3.6.3	Инспекции в полевых условиях.	158
3.7	Приведение показаний барометра к эталонному и другим уровням.	159
3.7.1	Стандартные уровни.	159
3.7.2	Общая формула приведения.	159
3.7.3	Формула приведения для станций, расположенных на небольшой высоте.	160
	Приложение 3.А. Методы измерения с помощью ртутных барометров.	161
	Приложение 3.В. Приведение показаний ртутного барометра к стандартным условиям.	171
	Справочная и дополнительная литература.	175
	ГЛАВА 4. ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ.	176
4.1	Общие сведения.	176
4.1.1	Определения.	176
4.1.2	Единицы измерения.	177
4.1.3	Метеорологические потребности.	177
4.1.4	Методы измерений и наблюдений.	177
4.1.4.1	Обзор общих принципов измерений.	178
4.1.4.4	Уход за приборами: общие положения.	181
4.1.5	Последствия Минаматской конвенции с точки зрения измерения влажности.	182
4.2	Электрические емкостные гигрометры.	183
4.2.1	Соображения общего характера.	183
4.2.2	Электрический емкостный гигрометр.	183
4.2.3	Процедура наблюдений.	184
4.2.4	Размещение и установка.	184
4.2.5	Источники ошибки.	184
4.2.6	Калибровка и инспекция в полевых условиях.	185
4.2.7	Обслуживание.	186
4.3	Психрометр.	187
4.3.1	Соображения общего характера.	187
4.3.1.1	Психрометрические формулы.	187
4.3.1.2	Спецификация психрометра.	187
4.3.1.3	Обвязка из ткани для смоченного термометра.	188

Стр.

4.3.1.4	Работа со смоченным термометром при температуре ниже точки инея	188
4.3.1.5	Общая процедура проведения наблюдений	190
4.3.1.6	Использование электрических термометров сопротивления ...	190
4.3.1.7	Психрометрические формулы и таблицы	190
4.3.1.8	Источники погрешностей в психрометрии	191
4.3.2	Психрометр Ассмана и другие аспирационные психрометры	192
4.3.2.1	Описание	192
4.3.2.2	Процедура наблюдения	193
4.3.2.3	Размещение и установка прибора	194
4.3.2.4	Калибровка	194
4.3.2.5	Обслуживание	195
4.3.3	Психрометр в жалюзийном метеорологическом экране (будке)	195
4.3.3.1	Описание	196
4.3.3.2	Процедура наблюдений	196
4.3.3.3	Размещение и установка прибора	197
4.3.3.4	Калибровка	197
4.3.3.5	Обслуживание	197
4.3.4	Працевые психрометры	197
4.3.4.1	Описание	197
4.3.4.2	Процедура наблюдений	198
4.4	Гигрометр точки росы с охлаждаемым зеркалом	198
4.4.1	Общие сведения	198
4.4.1.1	Теория	198
4.4.1.2	Принципы	198
4.4.2	Описание	199
4.4.2.1	Устройство датчика	199
4.4.2.2	Устройство оптического обнаружения	199
4.4.2.3	Устройство регулирования температуры	200
4.4.2.4	Система визуального отображения температуры	200
4.4.2.5	Формат прибора	201
4.4.2.6	Вспомогательные системы	201
4.4.3	Процедура наблюдения	201
4.4.4	Размещение и установка прибора	202
4.4.5	Калибровка и инспекция в полевых условиях	203
4.4.5.1	Калибровка	203
4.4.5.2	Инспекция в полевых условиях	204
4.5	Гигрометры, основанные на поглощении электромагнитного излучения	204
4.6	Волосной гигрограф	205
4.6.1	Общие соображения	205
4.6.2	Описание	206
4.6.3	Процедура наблюдений	206
4.6.4	Размещение и установка	207
4.6.5	Источники ошибки	207
4.6.5.1	Смещение нуля	207
4.6.5.2	Погрешности, обусловленные загрязнением волоса	207
4.6.5.3	Гистерезис	207
4.6.6	Калибровка и инспекция в полевых условиях	207
4.6.7	Обслуживание	208
4.7	Обеспечение прослеживаемости и калибровка	208
4.7.1	Принципы калибровки гигрометров	208
4.7.2	Первичные эталоны	210
4.7.2.1	Гравиметрическая гигрометрия	210
4.7.2.2	Динамический эталонный генератор влажности с использованием двух давлений	210
4.7.2.3	Динамический эталонный генератор влажности с использованием двух температур	210
4.7.3	Вторичные эталоны	211
4.7.4	Рабочие эталоны (и образцовые приборы для полевых условий)	211

4.7.5	Растворы солей	211
4.7.6	Методы калибровки	213
4.7.6.1	Замечания общего характера	213
4.7.6.2	Лабораторная калибровка	213
4.7.6.3	Полевая калибровка	214
4.8	Постоянные времени, защитные фильтры и безопасность	215
4.8.1	Постоянные времени датчиков влажности	215
4.8.2	Защитные фильтры	215
4.8.3	Безопасность	216
Приложение 4.А. Водяной пар в атмосфере — термины и определения		218
Приложение 4.В. Формулы для расчета характеристик влажности		222
Приложение 4.С. Инструменты и методы, которые имеют ограниченное применение или более не применяются		224
Справочная и дополнительная литература		230

ГЛАВА 5. ИЗМЕРЕНИЕ ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА. 231

5.1	Общие сведения	231
5.1.1	Определения	231
5.1.2	Единицы и шкалы измерения	232
5.1.3	Метеорологические требования	232
5.1.4	Методы измерения и наблюдения	233
5.2	Визуальная оценка ветра	233
5.2.1	Скорость ветра	235
5.2.2	Направление ветра	236
5.2.3	Пульсации ветра	236
5.3	Простые методы инструментальных наблюдений	236
5.3.1	Скорость ветра	236
5.3.2	Направление ветра	236
5.4	Чашечные и крыльчатые анемометры	236
5.5	Флюгеры для измерения направления ветра	237
5.6	Другие приборы для измерения ветра	238
5.7	Датчики и их комбинации для измерения составляющих ветра	239
5.8	Методы обработки данных	239
5.8.1	Осреднение	239
5.8.2	Максимальные порывы и средние квадратические отклонения	240
5.8.3	Рекомендации по конструированию систем для измерения ветра	242
5.9	Размещение приборов для наблюдения за ветром	243
5.9.1	Общее описание проблем	243
5.9.2	Размещение анемометров над сушей	243
5.9.3	Размещение анемометров на море	245
5.9.4	Корректировка данных с учетом размещения датчиков	245
5.10	Калибровка и обслуживание	247
Приложение. Интегральный параметр шероховатости		249
Справочная и дополнительная литература		251

ГЛАВА 6. ИЗМЕРЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОСАДКОВ 253

6.1	Общие сведения	253
6.1.1	Определения	253
6.1.2	Единицы измерения	254
6.1.3	Метеорологические и гидрологические требования	254
6.1.4	Методы измерений	254
6.1.4.1	Приборы	254
6.1.4.2	Эталонные осадкомеры и взаимные сравнения	255
6.1.4.3	Документация	256

	<i>Стр.</i>
6.2 Размещение и установка	257
6.3 Нерегистрирующие осадкомеры	258
6.3.1 Обычные осадкомеры	258
6.3.1.1 Приборы	258
6.3.1.2 Эксплуатация	260
6.3.1.3 Калибровка и техническое обслуживание	260
6.3.2 Суммарные осадкомеры	260
6.4 Погрешности и поправки при измерении количества осадков	261
6.5 Плювиографы	265
6.5.1 Весовой плювиограф	266
6.5.1.1 Приборы	266
6.5.1.2 Погрешности и поправки	266
6.5.1.3 Калибровка и техническое обслуживание	267
6.5.2 Плювиограф с самоопорожняющимся контейнером	268
6.5.2.1 Приборы	268
6.5.2.2 Погрешности и поправки	269
6.5.2.3 Калибровка и техническое обслуживание	271
6.5.3 Поплавковый плювиограф	271
6.5.4 Другие приборы для измерения осадков	272
6.6 Измерение росы, отложения льда и осадков в виде тумана	272
6.6.1 Измерение росы и увлажненности листа	272
6.6.2 Измерение отложения льда	274
6.6.2.1 Методы измерений	274
6.6.2.2 Лед на дорожном покрытии	275
6.6.3 Измерение осадков в виде тумана	276
Приложение 6.A. Стандартный эталонный осадкомер ямочного типа	278
Приложение 6.B. Станции проведения взаимных сравнений измерений осадков	280
Приложение 6.C. Стандартизированная процедура для лабораторной калибровки приборов накопительного типа, измеряющих интенсивность дождя	281
Приложение 6.D. Предложенные процедуры коррекции для измерений осадков	285
Приложение 6.E. Процедура для калибровки в полевых условиях приборов накопительного типа, измеряющих интенсивность дождя	286
Справочная и дополнительная литература	288
 ГЛАВА 7. ИЗМЕРЕНИЕ РАДИАЦИИ	 291
7.1 Общие сведения	291
7.1.1 Определения	291
7.1.2 Единицы и шкалы	292
7.1.2.1 Единицы	292
7.1.2.2 Стандартизация	292
7.1.3 Метеорологические требования	294
7.1.3.1 Данные для составления отчетности	294
7.1.3.2 Погрешность	294
7.1.3.3 Частота проведения наблюдений и регистрация данных	294
7.1.3.4 Время наблюдений	295
7.1.4 Методы измерений	295
7.2 Измерения прямой солнечной радиации	297
7.2.1 Прямая солнечная радиация	298
7.2.1.1 Основные эталонные пиргелиометры	299
7.2.1.2 Вторичные эталонные пиргелиометры	300
7.2.1.3 Полевые и сетевые пиргелиометры	301
7.2.1.4 Калибровка пиргелиометров	302
7.2.2 Экспонирование	302

7.3	Измерение суммарной и рассеянной радиации	303
7.3.1	Калибровка пиранометров	303
7.3.1.1	Поверка по эталонному пиргелиометру и затеняемому эталонному пиранометру	306
7.3.1.2	Поверка по эталонному пиргелиометру	306
7.3.1.3	Поочередная калибровка двух пиранометров с использованием пиргелиометра	307
7.3.1.4	Сравнения с эталонным пиранометром	308
7.3.1.5	Сравнения в лабораторных условиях	308
7.3.1.6	Регулярный контроль калибровочных коэффициентов	309
7.3.2	Характеристики пиранометров	309
7.3.2.1	Установка датчика в горизонтальном положении	310
7.3.2.2	Изменение чувствительности, обусловленное колебаниями температуры окружающей среды	310
7.3.2.3	Изменение чувствительности в зависимости от ориентации	310
7.3.2.4	Изменение чувствительности в зависимости от угла падения солнечных лучей	310
7.3.2.5	Погрешности определения часовых и суточных сумм	311
7.3.3	Установка и техническое обслуживание пиранометров	311
7.3.3.1	Поправки на закрытость горизонта	312
7.3.3.2	Установка пиранометров для измерения суммарной радиации .	312
7.3.3.3	Установка пиранометров для измерения рассеянной радиации	313
7.3.3.4	Установка пиранометров для измерения отраженной радиации	314
7.3.3.5	Техническое обслуживание пиранометров	314
7.3.3.6	Установка и техническое обслуживание пиранометров на специальных платформах	314
7.4	Измерение интегральной и длинноволновой радиации	315
7.4.1	Приборы для измерения длинноволновой радиации	315
7.4.2	Приборы для измерения суммарной радиации	319
7.4.3	Калибровка пиргеометров	320
7.4.4	Установка пиррадиометров и пиргеометров	321
7.4.5	Регистрация и преобразование данных	322
7.5	Измерение специальных радиационных параметров	322
7.5.1	Измерение дневной освещенности	322
7.5.1.1	Приборы	324
7.5.1.2	Поверка	324
7.5.1.3	Регистрация и преобразование данных	325
7.6	Измерение ультрафиолетового излучения	325
7.6.1	Приборы	328
7.6.1.1	Широкополосные датчики	328
7.6.1.2	Узкополосные датчики	329
7.6.1.3	Спектрорадиометры	331
7.6.2	Калибровка	332
	Приложение 7.A. Номенклатура актинометрических и фотометрических величин	334
	Приложение 7.B. Метеорологические радиационные величины, символы и определения	336
	Приложение 7.C. Установленные требования для мировых, региональных и национальных радиационных центров	338
	Приложение 7.D. Используемые формулы	342
	Приложение 7.E. Рассеянная радиация — поправка на затеняющее кольцо	345
	Приложение 7.F. Управление и прослеживаемость атмосферного длинноволнового излучения	347
	Справочная и дополнительная литература	348

Стр.

ГЛАВА 8. ИЗМЕРЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ	350
8.1 Общие сведения	350
8.1.1 Определение	350
8.1.2 Единицы и шкалы	351
8.1.3 Метеорологические требования	351
8.1.3.1 Использование данных о продолжительности солнечного сияния	351
8.1.3.2 Корреляция с другими метеорологическими параметрами	352
8.1.3.3 Требования к автоматической регистрации	352
8.1.4 Методы измерения	352
8.2 Приборы и датчики	354
8.2.1 Пиргелиометрический метод	354
8.2.1.1 Общие сведения	354
8.2.1.2 Источники погрешностей	354
8.2.2 Пиранометрический метод	354
8.2.2.1 Общие сведения	354
8.2.2.2 Источники погрешностей	356
8.2.3 Регистратор солнечного сияния Кэмпбелла-Стокса (метод прожигания)	356
8.2.3.1 Настройка	356
8.2.3.2 Оценка данных	357
8.2.3.3 Специальные модификации прибора	358
8.2.3.4 Источники погрешностей	358
8.2.4 Приборы для оценки контраста	358
8.2.5 Приборы для оценки контраста и сканирующие приборы	358
8.2.5.1 Общие сведения	358
8.2.5.2 Источники погрешностей	359
8.3 Установка приемников солнечного сияния	359
8.4 Общие источники погрешностей	360
8.5 Калибровка	360
8.5.1 Методы калибровки	361
8.5.1.1 Сравнение данных о продолжительности солнечного сияния	361
8.5.1.2 Сравнение аналоговых сигналов	361
8.5.1.3 Метод определения среднего эффективного порога солнечной радиации (MEIT)	362
8.5.2 Метод калибровки в лаборатории	362
8.6 Техническое обслуживание	363
Приложение 8.А. Алгоритм вычисления продолжительности солнечного сияния на основе измерений прямой суммарной солнечной радиации	364
Приложение 8.В. Алгоритм вычисления продолжительности солнечного сияния на основе 1-минутных измерений суммарной солнечной радиации	365
Справочная и дополнительная литература	367
ГЛАВА 9. ИЗМЕРЕНИЕ ВИДИМОСТИ	369
9.1 Общие сведения	369
9.1.1 Определения	369
9.1.2 Единицы измерения и шкалы	370
9.1.3 Метеорологические требования	371
9.1.4 Методы измерения	372
9.2 Визуальная оценка метеорологической оптической дальности	375
9.2.1 Общие сведения	375
9.2.2 Оценка метеорологической оптической дальности в дневное время	376
9.2.3 Оценка метеорологической оптической дальности в ночное время	376
9.2.4 Оценка метеорологической оптической дальности при отсутствии удаленных объектов	378
9.2.5 Точность визуальных наблюдений	379
9.2.6 Использование передающих камер	380

9.3	Инструментальные измерения метеорологической оптической дальности	380
9.3.1	Общие сведения	380
9.3.2	Приборы для измерения коэффициента ослабления	381
9.3.3	Инструменты для оценки коэффициента рассеяния	383
9.3.4	Выбор места и установка приборов	386
9.3.5	Калибровка и техническое обслуживание приборов	386
9.3.5.1	Техническое обслуживание	387
9.3.5.2	Калибровка	387
9.3.6	Оценки точности измерения метеорологического оптического диапазона	391
9.3.6.1	Общие сведения	391
9.3.6.2	Точность трансмиссометров	392
9.3.6.3	Точность измерителей рассеяния	393
9.3.6.4	Точность телефотометров и визуальных фотометров	393
	Справочная и дополнительная литература	394

ГЛАВА 10. ИЗМЕРЕНИЕ ИСПАРЕНИЯ	395
10.1 Общие сведения	395
10.1.1 Определения	395
10.1.2 Единицы измерения	395
10.1.3 Метеорологические требования	395
10.1.4 Методы измерения	396
10.2 Атомметры	397
10.2.1 Виды приборов	397
10.2.2 Измерение с помощью атомметров	397
10.2.3 Источники ошибки в атомметрах	398
10.3 Испарители и испарительные бассейны	398
10.3.1 Испаритель класса А (США)	398
10.3.2 Испаритель ГГИ-3000 (Россия)	399
10.3.3 Испарительный бассейн площадью 20 м ² (Россия)	399
10.3.4 Измерения с помощью испарителей и испарительных бассейнов	399
10.3.5 Размещение испарителей и испарительных бассейнов	400
10.3.6 Источники ошибки в испарителях и испарительных бассейнах	400
10.3.7 Обслуживание испарителей и испарительных бассейнов	401
10.4 Измерители суммарного испарения (лизиметры)	402
10.4.1 Измерение с помощью лизиметра	403
10.4.2 Размещение измерителей суммарного испарения	403
10.4.3 Источники ошибки в измерениях с помощью лизиметров	404
10.4.4 Обслуживание лизиметров	405
10.5 Оценка испарения с естественных поверхностей	405
Справочная и дополнительная литература	408

ГЛАВА 11. ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ	409
11.1 Общие сведения	409
11.1.1 Определения	409
11.1.2 Единицы измерения	411
11.1.3 Метеорологические требования	411
11.1.4 Методы измерения	412
11.2 Прямое гравиметрическое измерение содержания влаги в почве	413
11.3 Содержание влаги в почве: косвенные методы	414
11.3.1 Радиологические методы	414
11.3.1.1 Метод рассеяния нейтронов	415
11.3.1.2 Ослабление гамма-излучения	416
11.3.2 Диэлектрические постоянные системы почва–вода	416
11.3.2.1 Динамическая рефлектометрия	417
11.3.2.2 Измерение частотного диапазона	417

Стр.

11.4	Приборы для измерения потенциала влажности почвы	418
11.4.1	Тензиометры	418
11.4.2	Блоки электрического сопротивления	419
11.4.3	Психрометры.	420
11.5	Выбор места и размер пробы	420
11.6	Дистанционное зондирование влажности почвы.	421
11.6.1	Микроволновое дистанционное зондирование	422
11.6.1.1	Введение	422
11.6.1.2	Многочастотные радиометры	423
11.6.1.3	Скаттерометры	425
11.6.1.4	Радиолокаторы с синтезированной апертурой	425
11.6.1.5	Специализированные спутники с использованием L-полосы частот	426
11.6.1.6	Получение данных о влажности почвы	426
11.6.2	Дистанционное зондирование в тепловом инфракрасном диапазоне.	429
	Справочная и дополнительная литература	431

ГЛАВА 12. АЭРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ.

435

12.1	Общие сведения	435
12.1.1	Определения.	435
12.1.2	Единицы, используемые при аэрологических измерениях	436
12.1.3	Метеорологические требования	436
12.1.3.1	Радиозондовые данные для метеорологического обеспечения.	436
12.1.3.2	Взаимосвязь между спутниковыми и радиозондовыми аэрологическими измерениями	440
12.1.3.3	Максимальная высота радиозондовых наблюдений	441
12.1.4	Требования к точности	441
12.1.4.1	Геопотенциальная высота: требования и точность измерения	443
12.1.4.2	Температура: требования и точность измерений	443
12.1.4.3	Относительная влажность: требования и точность измерений	444
12.1.5	Методы измерения	444
12.1.5.1	Ограничивающие факторы при проектировании радиозондов.	444
12.1.5.2	Радиочастоты, используемые для передач с радиозондов	445
12.1.6	Погрешности радиозондовых измерений: общие сведения	446
12.1.6.1	Типы погрешностей	446
12.1.6.2	Потенциальные стандартные значения.	447
12.1.6.3	Источники дополнительных ошибок во время функционирования радиозондов	448
12.2	Радиозондовые электронные средства	449
12.2.1	Общие характеристики	449
12.2.2	Источники питания для радиозондов.	449
12.2.3	Методы передачи данных	450
12.2.3.1	Радиопередатчик	450
12.3	Датчики давления (включая измерения высоты)	450
12.3.1	Общие аспекты	450
12.3.2	Анероидные коробки	451
12.3.3	Анероидные коробки (емкостные).	451
12.3.4	Кремниевые датчики.	452
12.3.5	Погрешности датчиков давления.	453
12.3.5.1	Соотношение погрешностей в значениях геопотенциальной высоты и погрешностей в значениях давления	454
12.3.6	Использование геометрической высоты вместо данных датчика давления.	456
12.3.6.1	Общие сведения.	456
12.3.6.2	Метод расчета	456

12.3.7.	Источники погрешностей при прямом измерении высоты	458
12.3.7.1	При определении геометрической высоты с помощью ГСОМ. . .	458
12.3.7.2	При радиолокационных наблюдениях за высотой	459
12.4	Датчики температуры	460
12.4.1	Основные требования	460
12.4.2	Термисторы	462
12.4.3	Термоконденсаторы.	462
12.4.4	Термопары	462
12.4.5	Научные приборы зондирования.	462
12.4.6	Размещение датчиков	463
12.4.7	Погрешности измерения температуры.	464
12.4.7.1	Калибровка	464
12.4.7.2	Тепловая инерция	465
12.4.7.3	Теплообмен в инфракрасной области спектра	465
12.4.7.4	Разогрев солнечной радиацией	466
12.4.7.5	Осаждение льда или воды на датчике	469
12.4.7.6	Вопросы репрезентативности	469
12.5	Датчики относительной влажности	469
12.5.1	Общие аспекты	469
12.5.2	Емкостные тонкопленочные датчики.	475
12.5.3	Угольные гигристоры	476
12.5.4	Датчики из животной пленки.	476
12.5.5	Научные приборы зондирования.	477
12.5.6	Размещение датчиков	478
12.5.7	Погрешности измерений относительной влажности	479
12.5.7.1	Общие аспекты.	479
12.5.7.2	Относительная влажность в ночное время для температур выше -20°C	480
12.5.7.3	Относительная влажность в дневное время для температур выше -20°C	482
12.5.7.4	Относительная влажность в ночное время для температур от -20 до -50°C	484
12.5.7.5	Относительная влажность в дневное время для температур от -20 до -50°C	484
12.5.7.6	Относительная влажность в ночное время для температур от -50 до -70°C	485
12.5.7.7	Относительная влажность в дневное время для температур от -50 до -70°C	487
12.5.7.8	Увлажнение или обледенение в облаке	489
12.5.7.9	Вопросы репрезентативности	489
12.6	Оборудование наземной станции	489
12.6.1	Общие характеристики	489
12.6.2	Программное обеспечение для обработки данных.	490
12.7	Эксплуатация радиозондов	491
12.7.1	Контрольное внесение корректирующих поправок непосредственно перед использованием	491
12.7.2	Методы запуска радиозондов.	492
12.7.3	Процедуры запуска радиозонда.	492
12.7.4	Подвеска радиозонда во время полета.	493
12.7.5	Безопасность населения.	494
12.8	Сравнение, калибровка и обслуживание	494
12.8.1	Сравнения	494
12.8.1.1	Оценка качества с использованием краткосрочных прогнозов. .	495
12.8.1.2	Оценка качества с использованием временных рядов данных об атмосфере	496
12.8.1.3	Сравнение данных измерений водяного пара и дистанционного зондирования	496
12.8.1.4	Сравнения радиозондов.	497

Стр.

12.8.2	Калибровка	498
12.8.3	Техническое обслуживание и ремонт	499
12.9	Вычисления и результаты измерений	499
12.9.1	Процедуры вычислений и представления результатов радиозондовых измерений	500
12.9.2	Внесение поправок	501
12.10	Вопросы, связанные с закупками	502
12.10.1	Использование и обновление результатов, полученных во взаимном сравнении высококачественных систем радиозондирования ВМО	502
12.10.2	Некоторые вопросы, которые необходимо учитывать при закупках	502
Приложение 12.А. Современные требования к перспективной и оптимальной точности радиозондовых измерений		505
Приложение 12.В. Оценки целевой, перспективной и пороговой точности измерений ветра и температуры на высотах, относительной влажности и геопотенциальной высоты (на основе регулярного обзора потребностей ВМО в аэрологических наблюдениях)		507
Приложение 12.С. Безопасные для окружающей среды радиозонды		512
Приложение 12.Д. Рекомендации по организации сравнений радиозондов и учреждению центров проведения испытаний		514
Справочная и дополнительная литература		522
ГЛАВА 13. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕТРА НА ВЫСОТАХ		525
13.1	Общие положения	525
13.1.1	Определения	525
13.1.2	Единицы измерения ветра на высотах	525
13.1.3	Метеорологические требования	526
13.1.3.1	Области применения в метеорологической практике	526
13.1.3.2	Усовершенствование процедур передачи сообщений	527
13.1.3.3	Требования к точности	527
13.1.3.4	Требования к максимальной высоте	530
13.1.4	Методы измерений	530
13.1.4.1	Слежение с использованием радионавигационных сигналов ...	531
13.1.4.2	Слежение с использованием направленной антенны	532
13.2	Датчики и приборы для измерения ветра на высотах	533
13.2.1	Оптический теодолит	533
13.2.2	Радиотеодолит	534
13.2.3	Радиолокатор	535
13.2.3.1	Первичные радиолокаторы	535
13.2.3.2	Вторичные радиолокаторы	535
13.2.4	Навигационные системы слежения	536
13.2.4.1	Использование навигационных сигналов в будущем	537
13.2.4.2	Глобальная система определения местоположения	537
13.2.4.3	Цепи передатчиков «Лоран-С»	538
13.3	Методы измерений	539
13.3.1	Общие сведения, касающиеся обработки данных	539
13.3.2	Шаропилотные наблюдения	540
13.3.3	Наблюдения с использованием направленной антенны	541
13.3.4	Наблюдения с использованием радионавигационных систем	542
13.4	Размещение наземного оборудования	543
13.5	Источники ошибок	543
13.5.1	Общие положения	543
13.5.1.1	Ошибки при слежении за мишенью	543
13.5.1.2	Ошибки определения высоты	544
13.5.1.3	Движение мишени по отношению к атмосфере	544

13.5.2	Ошибки при шаропилотных наблюдениях	545
13.5.3	Ошибки систем, в которых используется направленная антенна	545
13.5.4	Ошибки систем для измерения ветра, использующих Глобальную систему определения местоположения	548
13.5.5	Ошибки наземных радионавигационных систем «Лоран-С»	551
13.5.6	Ошибки репрезентативности	552
13.6	Сравнения, калибровка и техническое обслуживание	554
13.6.1	Сравнение	554
13.6.1.1	Оперативный мониторинг посредством сравнения с прогностическими полями	555
13.6.1.2	Сравнение с другими системами измерения ветра	555
13.6.2	Калибровка	556
13.6.3	Техническое обслуживание	556
13.7	Поправки	557
	Справочная и дополнительная литература	558

ГЛАВА 14. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ТЕКУЩЕЙ И ПРОШЕДШЕЙ ПОГОДОЙ;

СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ	560
14.1 Общие сведения	560
14.1.1 Определения	560
14.1.2 Единицы измерений и шкалы	560
14.1.3 Метеорологические требования	561
14.1.4 Методы наблюдений	561
14.2 Наблюдение за текущей и прошедшей погодой	562
14.2.1 Осадки	562
14.2.1.1 Объекты наблюдения	562
14.2.1.2 Приборы и измерительные устройства: виды осадков	562
14.2.1.3 Приборы и измерительные устройства: интенсивность и характер осадков	565
14.2.1.4 Приборы и измерительные устройства: подход, предполагающий использование многих датчиков	566
14.2.2 Мутность атмосферы и аэрозоль	566
14.2.2.1 Объекты наблюдения	566
14.2.2.2 Приборы и измерительные устройства для определения характеристик мутности атмосферы и аэрозоля	567
14.2.3 Другие погодные явления	568
14.2.3.1 Объекты наблюдения	568
14.2.3.2 Приборы и измерительные устройства	569
14.2.4 Состояние неба	569
14.2.4.1 Объекты наблюдения	569
14.2.4.2 Приборы и измерительные устройства	569
14.3 Наблюдение за состоянием поверхности земли	569
14.3.1 Объекты наблюдения	569
14.3.2 Приборы и измерительные устройства	570
14.4 Наблюдение за особыми явлениями	571
14.4.1 Электрические явления (электрометеоры)	571
14.4.2 Оптические явления (фотометеоры)	571
Приложение. Критерии для интенсивности слабых, умеренных и сильных осадков. ...	572
Справочная и дополнительная литература	574

ГЛАВА 15. НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЕ ОБЛАКОВ

15.1 Общие сведения	577
15.1.1 Определения	577
15.1.2 Единицы и шкалы	579
15.1.3 Метеорологические требования	579

Стр.

15.1.4	Методы наблюдения и измерения	579
15.1.4.1	Количество облаков.	579
15.1.4.2	Высота нижней границы облаков	580
15.1.4.3	Тип облаков	581
15.2	Оценка и наблюдения за количеством и видами облаков, высотой нижней границы облаков, осуществляемые наблюдателем	581
15.2.1	Проведение эффективной оценки	581
15.2.2	Оценка количества облаков.	581
15.2.3	Оценка высоты нижней границы облаков	582
15.2.4	Наблюдение за видами облаков	583
15.3	Инструментальное измерение количества облаков.	584
15.3.1	Измерение количества облаков с помощью лазерного облакомера	584
15.3.2	Измерение количества облаков с помощью инфракрасного детектора.	586
15.3.3	Измерение количества облаков с помощью камеры обзора небосвода.	587
15.4	Инструментальные измерения высоты нижней границы облаков	587
15.4.1	Измерение высоты нижней границы облаков с помощью лазерного облакомера	588
15.4.1.1	Метод измерения.	588
15.4.1.2	Размещение и установка.	589
15.4.1.3	Источники погрешностей.	589
15.4.1.4	Калибровка и техническое обслуживание	590
15.4.2	Измерение высоты нижней границы облаков с помощью облакомера с вращающимся лучом	591
15.4.2.1	Метод измерения.	591
15.4.2.2	Размещение и установка.	592
15.4.2.3	Источники погрешностей.	592
15.4.2.4	Калибровка и техническое обслуживание	593
15.4.3	Измерение высоты нижней границы облаков с помощью облачного прожектора	593
15.4.3.1	Метод измерения.	593
15.4.3.2	Размещение и установка.	593
15.4.3.3	Источники погрешностей.	594
15.4.3.4	Калибровка и техническое обслуживание	594
15.4.4	Измерение высоты нижней границы облаков с помощью шара-пилота.	595
15.4.4.1	Метод измерения.	595
15.4.4.2	Источники погрешности.	596
15.5	Инструментальное измерение форм облаков.	596
15.6	Другие особенности, связанные с облаками	596
15.6.1	Вертикальная видимость	596
	Справочная и дополнительная литература	597
ГЛАВА 16. ИЗМЕРЕНИЕ СОСТАВА АТМОСФЕРЫ		599
16.1	Общие сведения	599
16.1.1	Определения и описания	600
16.1.2	Единицы и шкалы	601
16.1.3	Принципы и методы измерений	603
16.1.4	Обеспечение качества.	604
16.2	Измерения (стратосферного) озона	606
16.2.1	Общее содержание озона.	606
16.2.2	Измерения вертикального распределения озона	608
16.2.2.1	Умкер-метод	608
16.2.2.2	Измерения с помощью озонзондов.	608
16.2.2.3	Другие методы измерений.	609
16.2.3	Наблюдения с помощью самолетов и спутников	609
16.3	Парниковые газы	610
16.3.1	Диоксид углерода (включая $\delta^{14}\text{C}$, $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в CO_2 , и соотношения O_2/N_2)	610
16.3.2	Метан	612

	Стр.
16.3.3 Закись азота.....	612
16.3.4 Галогенуглероды и SF ₆	613
16.3.5 Дистанционное зондирование парниковых газов.....	613
16.4 Химически активные газы.....	614
16.4.1 Тропосферный (приземный) озон.....	614
16.4.2 Моноксид углерода.....	615
16.4.3 Летучие органические соединения.....	616
16.4.4 Оксид азота.....	620
16.4.5 Двуокись серы.....	622
16.4.6 Молекулярный водород.....	622
16.5 Атмосферные влажные выпадения.....	623
16.5.1 Отбор проб.....	624
16.5.2 Химический анализ.....	625
16.6 Аэрозоли.....	628
16.6.1 Измерения химического состава аэрозолей.....	629
16.6.2 Измерения <i>in situ</i> аэрозольных радиационных характеристик.....	634
16.6.3 Численная концентрация частиц и фракционный состав.....	635
16.6.4 Облачные ядра конденсации.....	636
16.6.5 Оптическая плотность аэрозоля.....	637
16.6.6 Лидарные наблюдения за аэрозолями на станциях ГСА.....	638
16.7 Естественная радиоактивность.....	643
Приложение. Центральные учреждения ГСА.....	644
Справочная и дополнительная литература.....	647

ПРЕДИСЛОВИЕ

В руководствах ВМО описываются практики и процедуры, которые Членам ВМО предлагается соблюдать или выполнять при разработке и осуществлении своих мер, направленных на обеспечение соответствия правилам Технического регламента ВМО.

Одной из давних публикаций в этой серии является Руководство по приборам и методам наблюдений (ВМО № 8), которое было впервые опубликовано в 1950 году. Постоянное развитие и стандартизация практики измерений и наблюдений, а также стремительное развитие новых методов и технологий измерений привели к превращению Руководства в значительно более крупный, фундаментальный и важный источник информации. Начиная с издания 2018 года, Руководство разделено на «тома», которые могут обновляться и публиковаться независимо друг от друга.

В общих чертах Руководство в его нынешнем виде выглядит следующим образом:

Том I — Измерения метеорологических переменных;
Том II — Измерение криосферных переменных;
Том III — Системы наблюдений;
Том IV — Космические наблюдения;
Том V — Обеспечение качества и менеджмент систем наблюдений.

Настоящее Руководство является авторитетным справочным материалом по всем вопросам, касающимся приборов и методов наблюдений в контексте Интегрированной глобальной системы наблюдений ВМО (ИГСНВ). Единообразные, прослеживаемые и высококачественные данные наблюдений представляют собой важнейший вклад для большинства применений ВМО, таких как мониторинг климата, численное прогнозирование погоды, прогнозирование текущей погоды и прогнозирование суровой погоды, которые способствуют повышению благополучия обществ во всех странах.

Основная цель Руководства состоит в том, чтобы предоставить руководящие указания в отношении наиболее эффективных практик и процедур, а также возможностей приборов и систем, которые регулярно используются для выполнения метеорологических, гидрологических и связанных с окружающей средой измерений и наблюдений для удовлетворения специфических потребностей в различных областях применения. Теоретические основы техники и методов наблюдения изложены в тексте и снабжены ссылками и списком литературы для получения дополнительной справочной информации и сведений.

Настоящее издание тома I, подготовленное в 2021 году, было утверждено на семьдесят третьей сессии (ИС 73) Исполнительного совета ВМО. По сравнению с изданием 2018 года в этом издании добавлено важное новое [приложение 1.C](#) к главе 1 «Классификация качества измерений для наземных станций приземных наблюдений».

От имени ВМО позвольте выразить мою искреннюю признательность Постоянному комитету по вопросам измерений, приборного оснащения и прослеживаемости Комиссии по наблюдениям, инфраструктуре и информационным системам, чьи колоссальные усилия сделали возможной публикацию этого нового издания.



(Петтери Таалас)
Генеральный секретарь

