

Руководство по приборам и методам наблюдений

Том II — Измерение криосферных переменных

Издание 2023 г.

ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 8

Руководство по приборам и методам наблюдений

Том II — Измерение криосферных переменных

Издание 2023 г.



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 8

РЕДАКТОРСКОЕ ПРИМЕЧАНИЕ

Терминологическая база данных ВМО «МЕТЕОТЕРМ» доступна по адресу: <https://wmo.int/ru/wmo-community/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, 2023

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
Электронная 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.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	v
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	1
1.1 Наблюдение за криосферой	1
1.2 системы наблюдения за криосферой	1
1.3 Общие требования к размещению и установке приборов, предъявляемые к станциям измерения криосферных переменных.....	1
1.4 Стандарты измерений и передовая практика	2
1.4.1 Снег	2
1.4.2 Ледники и ледяные шапки	3
1.4.3 Ледяные щиты.....	5
1.4.4 Шельфовые ледники	5
1.4.5 Айсберги.....	5
1.4.6 Морской лед	6
1.4.7 Озерный лед	8
1.4.8 Речной лед	9
1.4.9 Многолетняя мерзлота	10
1.4.10 Сезонно-мерзлый грунт	11
1.4.11 Приземная метеорология (на станциях КριοНет)	11
1.5 Неопределенность измерений	11
Ссылки и дополнительные материалы	12
ГЛАВА 2. ИЗМЕРЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА	13
2.1 Общая информация	13
2.1.1 Определения, единицы измерения и шкалы.....	13
2.2 Размещение и установка приборов	15
2.3 Высота снежного покрова.....	16
2.3.1 Неавтоматические измерения высоты снежного покрова	16
2.3.1.1 Методы проведения измерений	16
2.3.1.2 Процедуры измерения и передовая практика.....	19
2.3.1.3 Источники ошибки	21
2.3.2 Автоматические измерения высоты снежного покрова	22
2.3.2.1 Методы проведения измерений	22
2.3.2.2 Процедуры измерения и передовая практика	24
2.3.2.3 Источники ошибки	28
2.4 Водный эквивалент снежного покрова	29
2.4.1 Ручные измерения водного эквивалента снежного покрова.....	29
2.4.1.1 Методы проведения измерений.....	29
2.4.1.2 Процедуры измерения и передовая практика.....	32
2.4.1.3 Источники ошибки	38
2.4.2 Автоматические измерения водного эквивалента снежного покрова.....	39
2.4.2.1 Методы проведения измерений.....	39
2.4.2.2 Процедуры измерения и передовая практика.....	41
2.4.2.3 Источники ошибки	42
2.5 Свойства снежного покрова.....	43
2.6 Высота слоя выпавшего снега	43
2.6.1 Ручные измерения высоты слоя выпавшего снега	44
2.6.1.1 Методы проведения измерений	44
2.6.1.2 Процедуры измерения и передовая практика.....	44
2.6.1.3 Источники ошибки	45

2.7	Наличие снега на земле.	45
2.7.1	Ручные измерения наличия снега на поверхности земли.	45
2.7.1.1	Методы проведения измерений.	45
2.7.1.2	Процедуры измерения и передовая практика.	46
2.7.1.3	Источники ошибки.	46
	Справочная и дополнительная литература.	47
ГЛАВА 3. ИЗМЕРЕНИЕ ЛЕДНИКОВ.		49
3.1	Общая информация.	49
3.1.1	Резюме.	49
3.1.2	Введение.	50
3.1.3	Определение.	51
3.1.4	Ледники по всему миру.	51
3.1.5	Переменные, используемые в наблюдениях баланса массы.	52
3.2	Кадастры ледников и схемы классификации.	53
3.2.1	Кадастры ледников.	53
3.2.2	Характеристика ледников.	53
3.2.3	Классификация ледников.	55
3.2.4	Выбор ледников для измерений.	55
3.3	Контуры и площади ледников.	57
3.3.1	Введение.	57
3.3.2	Создание контуров ледников.	58
3.4	Толщина и объем ледников.	62
3.4.1	Радиоэхозондирование для определения толщины ледника.	62
3.4.2	Определение рельефа подстилающей породы и объема ледника.	65
3.4.3	Погрешность и неопределенности измерений.	66
3.4.4	Компиляция измерений толщины льда в глобальном масштабе.	67
3.5	Измерения колебаний и длины фронта ледников.	67
3.5.1	Справочная информация.	67
3.5.2	Измерения колебания фронта – полевые данные.	68
3.5.3	Предоставление отчетности о колебаниях фронта и изменении длины. .	68
3.5.4	Другие источники данных об изменении длины.	70
3.5.5	Неопределенность.	70
3.6	Терминология баланса массы и системы представления отчетности.	70
3.6.1	Терминология баланса массы.	71
3.6.2	Системы представления отчетности о балансе массы.	74
3.7	Измерения поверхностной аккумуляции.	75
3.7.1	Ручные измерения высоты и плотности снега на ледниках.	75
3.7.2	Измерения глубины снежного покрова с помощью грунтопроникающего радара.	79
3.8	Измерения поверхностной абляции.	80
3.8.1	Абляционные рейки на ледниках и ледяных шапках.	80
3.8.2	Буровое оборудование.	83
3.8.3	Установка и показания реек.	83
3.8.4	Автономные измерения абляции на ледниках.	87
3.8.5	Источники ошибки и неопределенности.	88
3.9	Расчет баланса массы.	90
3.9.1	Методы отображения и расчета баланса массы.	90
3.9.2	Геодезические методы определения баланса массы.	92
3.9.3	Обнаружение и коррекция систематической погрешности в записях гляциологического баланса массы.	95
3.9.4	Неопределенность в изменениях массы, определенных геодезическим методом.	95
	Приложение. Меры безопасности во время полевых работ на ледниках.	97
	Справочная и дополнительная литература.	100

ПРЕДИСЛОВИЕ

В руководствах ВМО описываются практики и процедуры, которым Членам предлагается следовать 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 впервые было опубликовано в 1950 году. 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 в большинство областей применений ВМО, таких как мониторинг климата, численное прогнозирование погоды, наукастинг и прогнозирование явлений суровой погоды, каждая из которых способствует повышению благополучия обществ по всему миру.

Основная цель Руководства — предоставить руководящие указания в отношении наиболее эффективных практик и процедур, а также возможностей приборов и систем, которые регулярно используются для производства метеорологических, гидрологических и связанных с окружающей средой измерений и наблюдений за окружающей средой для удовлетворения конкретных потребностей различных областей применений. Теоретические основы техники и методов наблюдений изложены в тексте и подкреплены ссылками и списком справочной и дополнительной литературы для получения дополнительной справочной информации и сведений.

Постоянная эволюция и стандартизация практики измерений и наблюдений, а также быстрое развитие новых методов и технологий производства 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.

Текущее издание Руководства включает:

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 издание тома II, подготовленное в 2023 году, было утверждено на семьдесят шестой сессии (ИС-76) Исполнительного совета ВМО. По сравнению с изданием 2018 года в данном издании обновлены [глава 2](#) «Измерение снежного покрова» и добавлена новая [глава 3](#) «Измерение ледников».

В процессе обновления настоящего тома ВМО воспользовалась плодотворным сотрудничеством между экспертами сообщества Глобальной службы криосферы и Постоянным комитетом по вопросам измерений, приборного оснащения и прослеживаемости Комиссии по наблюдениям, инфраструктуре и информационным системам и ее Редакционным советом. В частности, я хотела бы отметить большой вклад следующих экспертов: Крейга Смита (Министерство окружающей среды и изменения климата Канады, Канада), Чарльза Фирца, Анны Хаберкорн и Кристофа Марти (Швейцарский институт исследования снега и лавин, ВСЛ, Швейцария) в подготовку главы 2 «Измерение снега»; и Торстейна Торстейнссона (Исландское метеорологическое бюро, Исландия), Якоба Абермана (факультет географии и региональных наук, Университет Граца, Австрия), Лисс М. Андреассен (Норвежское управление водных

ресурсов и энергетики, Норвегия), Чарльза Фирца (Швейцарский институт исследования снега и лавин, ВСЛ, Швейцария) и Маттиаса Хусса (Лаборатория гидравлики, гидрологии и гляциологии, Швейцарская высшая техническая школа Цюриха (ETH Zurich), Швейцария) в подготовку главы 3 «Измерение ледников».

От имени ВМО позвольте выразить мою искреннюю признательность всем тем, чьи колоссальные усилия сделали возможной публикацию этого нового издания.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'C. Saulo', written in a cursive style.

(Профессор Селеста Сауло)
Генеральный секретарь