

Руководство по приборам и методам наблюдений

Том II — Измерение криосферных переменных

Издание 2018 г.

ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 8

Руководство по приборам и методам наблюдений

Том II — Измерение криосферных переменных

Издание 2018 г.



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 8

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, 2018

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.

СОДЕРЖАНИЕ

| | <i>Стр.</i> |
|---|-------------|
| 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 | 10 |
| 1.4.11 Приземная метеорология (на станциях КривоНет) | 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 | 18 |
| 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 | 23 |
| 2.3.2.3 Источники ошибки | 27 |
| 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 | 37 |
| 2.4.2 Автоматические измерения водного эквивалента снежного покрова | 38 |
| 2.4.2.1 Методы проведения измерений | 38 |
| 2.4.2.2 Процедуры измерения и передовая практика | 40 |
| 2.4.2.3 Источники ошибки | 41 |
| 2.5 Свойства снежного покрова | 42 |
| 2.6 Высота слоя выпавшего снега | 43 |
| 2.6.1 Ручные измерения высоты слоя выпавшего снега | 43 |
| 2.6.1.1 Методы проведения измерений | 43 |
| 2.6.1.2 Процедуры измерения и передовая практика | 44 |
| 2.6.1.3 Источники ошибки | 44 |
| 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 | 45 |
| 2.7.1.3 Источники ошибки | 45 |
| Справочная и дополнительная литература | 46 |

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 НАБЛЮДЕНИЕ ЗА КРИОСФЕРОЙ

Криосфера в совокупности описывает компоненты системы Земля, зачастую содержащие воду в замерзшем состоянии; к ним относятся твердые осадки, снег, ледники и ледяные шапки, ледяные щиты, шельфовые ледники, айсберги, морской, озерный и речной лед, многолетняя мерзлота и сезонно-мерзлый грунт. Однако многолетняя мерзлота может быть «сухой», поэтому к криосфере также относится любой природный материал в замороженном состоянии. Криосфера состоит из элементов, которые находятся на поверхности земли или под ней либо которые измеряются на поверхности, как в случае твердых осадков, за исключением ледяных облаков. Криосфера носит глобальный характер и существует не только в Арктике, Антарктике и горных регионах, но и на различных широтах примерно в ста странах. Она представляет собой один из наиболее полезных индикаторов изменения климата, оставаясь, однако, одной из самых неизученных областей системы Земля. Улучшение мониторинга криосферы и интеграция такого мониторинга крайне важны для полной оценки, прогнозирования и адаптации к изменчивости и изменению климата.

1.2 СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА КРИОСФЕРОЙ

ВМО в сотрудничестве с другими национальными и международными органами и организациями, используя свои глобальные возможности в области наблюдений и телесвязи, способна обеспечивать комплексную, достоверную и непрерывную оценку состояния криосферы в рамках Глобальной службы криосферы (ГСК). Система приземных наблюдений ГСК считается компонентом Интегрированной глобальной системы наблюдений ВМО (ИГСНВ), который ориентирован на криосферу и вносит вклад в Глобальную систему наблюдений за климатом (ГСНК) и Глобальную систему систем наблюдений за Землей (ГЕОСС). Глобальная служба криосферы способствует созданию высокоширотных и альпийских станций с проведением сравнительных измерений ключевых переменных, особенно многолетней мерзлоты и снежного покрова, таким образом укрепляя роль ГСНК и Глобальной системы наблюдений за поверхностью суши (ГСНПС), занимающихся вопросами многолетней мерзлоты, ледников и гидрологии.

1.3 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАЗМЕЩЕНИЮ И УСТАНОВКЕ ПРИБОРОВ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СТАНЦИЯМ ИЗМЕРЕНИЯ КРИОСФЕРНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Характеристики пункта измерений должны фиксироваться в метаданных станции. К важным характеристикам размещения относятся среди прочего тип поверхности (минеральная почва или органические слои, тип растительности, лед и т. д.), преобладающее направление ветра, схема размещения пункта и подверженность воздействию ветра и солнечной радиации. Область измерения должна быть репрезентативной для окружающего ландшафта. Для недопущения нерепрезентативных измерений на альпийских станциях следует избегать производства измерений на участках с более интенсивным воздействием, чем у окружающего ландшафта.

Наконец, при размещении следует учитывать доступность и постоянство, поскольку в конечном итоге они влияют на непрерывность записи. Кроме того, в случае автоматизированных измерений при размещении могут учитываться источник питания и связь.

1.4 СТАНДАРТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ПЕРЕДОВАЯ ПРАКТИКА

Для того чтобы обеспечить высокое качество и последовательность наблюдений, измерения криосферных переменных на станциях ГСК будут проводиться в соответствии с принятыми стандартами. Многие стандарты измерений были составлены с помощью ГСК и других сетей, однако данный перечень не является исчерпывающим для ряда криосферных измерений. Изначальный перечень существующих документов, описывающих практики измерений или, в некоторых случаях, передовую практику обработки данных наблюдений, можно найти на [веб-сайте ГСК](#).

У некоторых криосферных сетей есть собственные стандарты. В рамках ГСК будут предприняты значительные усилия по установлению стандартов, согласующихся с существующими, а также с руководящими принципами наблюдений за отдельными криосферными переменными, некоторые из которых регулярно используются. Таким образом, стандарты измерений ГСК будут основываться на существующих стандартах, например, стандартах, изложенных в Руководстве по гидрологической практике (ВМО-№ 168), в публикации *Snow cover measurements and areal assessment of precipitation and soil moisture* (Измерения снежного покрова и оценка по площади осадков и влажности почвы) (ВМО-№. 749) и Международной классификации для сезонно-выпадающего снега (Fierz et al., 2009), и по мере необходимости будут добавляться новые стандарты. Они будут рассмотрены научным сообществом, доработаны по мере необходимости и приведены в настоящем Руководстве, которое является стандартным документом ГСК по измерениям и передовой практике, связанным с криосферой.

Глобальная служба криосферы составила приведенный ниже перечень обязательных, рекомендуемых и желательных измерений характеристик для каждого компонента криосферы (таблицы 1.1-1.11). В настоящее время обязательные измерения переменных перечислены только для метеорологических приземных измерений на станциях КриоНет, поэтому в настоящем Руководстве описаны только рекомендуемые измерения криосферных переменных. Рекомендуемые измерения криосферных переменных могут позднее стать обязательными.

1.4.1 Снег

На данный момент не существует глобального, скоординированного мониторинга снега на поверхности земли. Это связано с тем, что требования, предъявляемые к сети, различаются в зависимости от области применения: предупреждение о лавинах, метеорологические наблюдения, снег, гидрология и т. д. В связи с этим руководящие принципы по передовой практике содержатся в различных наставлениях, относящихся к каждому из таких применений, и часто совпадают друг с другом. Более того, передовая практика, используемая в альпийском регионе, может быть неприменима в экстремальных условиях, подобных тем, которые наблюдаются в Восточной Антарктике, где, например, гораздо труднее однозначно определить глубину снежного покрова.

С 1954 года существует [Международная классификация для сезонно-выпадающего снега](#) (МКСВС), которая охватывает многие, но не все аспекты мониторинга снега, а также измерения и наблюдения за его свойствами. Рабочая группа Международной ассоциации криосферных наук (МАКН) провела обзор МКСВС, которая в настоящее время доступна в режиме онлайн (Fierz et al., 2009).

Однако по мере того, как число регулярных и непрерывных неавтоматизированных наблюдений сокращается во всем мире, необходимо в срочном порядке расширить наши возможности по автоматическому измерению снега на поверхности земли и проверке этих измерений по данным неавтоматизированных наблюдений. Одним из важных шагов в этом направлении является проводимый ВМО Эксперимент по взаимному сравнению измерений твердых осадков (ЭВСТО). Аналогично вышесказанному, требования варьируются в зависимости от применения. Погрешность ± 5 см в высоте свежеснежившего снега может не показаться критической при прогнозировании лавин, однако после выпадения 1 см снега на дорогах могут потребоваться снегоборочные работы.

Таблица 1.1. Список обязательных, рекомендуемых и желательных измерений характеристик снежного покрова

| Категория измерения | Характеристика | Периодичность | | | | |
|---------------------|---|-------------------|-------------|--------------------------|--------------|------------|
| | | каждый час | каждый день | каждую неделю | каждый месяц | каждый год |
| Обязательное | В настоящее время отсутствуют | | | | | |
| Рекомендуемое | Высота снежного покрова (с использованием системы снегомерных реек и снегомерных маршрутов) | А (С, Л, МЛ, ОРЛ) | Н (С) | Н (МЛ, ОРЛ) ^а | | Н (Л, ЛЩ) |
| | Водный эквивалент снега | А (С) | | Н (С) ^а | | Н (Л, ЛЩ) |
| | Свойства снега (плотность, удельная площадь поверхности, форма и размер зерна, жесткость, водосодержание, соленость, химический состав, примеси, механические характеристики) | | | Н (С) ^а | | Н (ЛЩ) |
| | Наличие снега на поверхности земли | | Н (С) | | | |
| Желательное | Высота снежного покрова | А (ЛЩ, ММ) | Н (ММ) | Н (С) ^а | | |
| | Свойства снега | | | Н (МЛ, ОРЛ) ^а | | |
| | Высота слоя выпавшего снега | | Н (С) | | | |
| | Водный эквивалент выпавшего снега | | Н (С) | | | |
| | Протяженность снежного покрова | А (МЛ, ОРЛ) | | Н (МЛ, ОРЛ) ^а | | |
| | Температура поверхности снега | А (С, МЛ) | | Н (МЛ, ОРЛ) ^а | | |
| | Температура снега | А (С) | | | | |
| | Поземок | А (С) | Н (С) | | | |

Обозначения:

| | | | |
|-----|------------------|------|----------------------|
| А: | автоматическое | ОРЛ: | озерный и речной лед |
| Н: | неавтоматическое | ММ: | многолетняя мерзлота |
| Л: | ледники | С: | снег |
| ЛЩ: | ледяные щиты | МЛ: | морской лед |

Примечание:

^а Каждые две недели

1.4.2 Ледники и ледяные шапки

Глобальная сеть наблюдений за поверхностью суши — ледники (ГСНПС-Л) является основой для координируемого на международном уровне мониторинга ледников и ледяных шапок в поддержку Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИКООН). Система ГСНК/ГСНПС управляется совместно Всемирной службой мониторинга ледников (ВСМЛ) Международной ассоциации криосферных

наук (МАКН), Национальным центром данных по снегу и льду (НЦДСЛ) Соединенных Штатов Америки и Глобальной инициативой по мониторингу материкового льда из космоса (ГЛИМС).

Помимо подробных (индексных) измерений *in situ* баланса массы, в перечнях ледников содержится основная информация о физико-географических свойствах ледников, включая их границы и топографию поверхности. Кроме того, предпринимаются усилия по сбору стандартизированных данных измерений толщины ледников.

В 2015 году ВСМЛ разработала серию Глобальный бюллетень по изменениям ледников (ГБИЛ) с целью предоставления интегрированной оценки глобальных и региональных изменений ледников с периодичностью в два года. С основными данными можно ознакомиться на официальных веб-сайтах вышеупомянутых организаций.

Таблица 1.2. Список обязательных, рекомендуемых и желательных измерений характеристик ледников и ледяных шапок

| Категория измерения | Характеристика | Периодичность | | | | |
|---------------------|--|---------------|-------------|---------------|--------------|----------------|
| | | каждый час | каждый день | каждую неделю | каждый месяц | каждый год |
| Обязательное | В настоящее время отсутствуют | | | | | |
| Рекомендуемое | Поверхностная аккумуляция (в конкретной точке) | A | | | | H ^a |
| | Поверхностная абляция (в конкретной точке) | A | | | | H |
| | Поверхностный баланс массы (по всему леднику) | | | | | H |
| | Поверхностный баланс массы (в конкретной точке) | A | | | | H |
| | Площадь ледника (по всему леднику) | | | | | H ^b |
| Желательное | Поверхностная абляция у поверхности (по всему леднику) | | | | | H |
| | Абляция у основания (в конкретной точке) | A | | | | H |
| | Толщина ледника (в конкретной точке) | | | | | H ^b |
| | Объем ледника (по всему леднику) | | | | | H ^b |
| | Сток с ледника | A | | | | |
| | Интенсивность откалывания (в конкретной точке) | | | | | A/H |
| | Скорость льда (в конкретной точке) | | A | | | H |
| | Профиль температуры льда/фирна (в конкретной точке) | A | | | | |
| | | | | | | |

Обозначения:

A: автоматическое H: неавтоматическое

Примечания:

^a Сезонное

^b Многолетнее

1.4.3 Ледяные щиты

Таблица 1.3. Список обязательных, рекомендуемых и желательных измерений характеристик ледяных щитов

| Категория измерения | Характеристика | Периодичность | | | | |
|---------------------|---|---------------|-------------|---------------|--------------|----------------|
| | | каждый час | каждый день | каждую неделю | каждый месяц | каждый год |
| Обязательное | В настоящее время отсутствуют | | | | | |
| Рекомендуемое | Поверхностная аккумуляция (в конкретной точке) | | A | | | |
| | Поверхностная абляция (в конкретной точке) | | A | | | |
| | Поверхностный баланс массы (в конкретной точке) | | A | | | H |
| Желательное | Толщина ледового щита (в конкретной точке) | | | | | H ^a |
| | Скорость льда (в конкретной точке) | | | | A | |
| | Профиль температуры льда/фирна (в конкретной точке) | A | | | | |

Обозначения:

A: автоматическое H: неавтоматическое

Примечание:

^a Многолетнее

1.4.4 Шельфовые ледники

Таблица 1.4. Список обязательных, рекомендуемых и желательных измерений характеристик шельфовых ледников

| Категория измерения | Характеристика | Периодичность | | | | |
|---------------------|-------------------------------|---------------|-------------|---------------|--------------|------------|
| | | каждый час | каждый день | каждую неделю | каждый месяц | каждый год |
| Обязательное | В настоящее время отсутствуют | | | | | |
| Рекомендуемое | Абляция у основания | | | | | A/H |
| | Скорость льда | | A | | | H |

Обозначения:

A: автоматическое H: неавтоматическое

1.4.5 Айсберги

Айсберги встречаются в основном в Северном Ледовитом океане и прилегающих морях до Ньюфаундленда и Лабрадора в южном направлении, а также в Южном океане. Мониторинг айсбергов является важнейшим вопросом безопасности для передвижений, а также работы предприятий в полярных морях и служит источником данных для климатологического анализа, например для оценки потери массы ледяных щитов ледников.

Мониторинг айсбергов в значительной степени основан на снимках, полученных с помощью дистанционного зондирования. Тем не менее наблюдения за айсбергами являются частью нескольких программ наблюдения на местах, включая наблюдения с судов (см. Jacka and Giles, 2007; Romanov et al., 2011).

Наблюдения за айсбергами на местах как в Арктике, так и в Антарктике включают основные наблюдения за их расположением, размером и плотностью скопления, а также за движением, формой и осадками.

Таблица 1.5. Список обязательных, рекомендуемых и желательных измерений характеристик айсбергов

| Категория измерения | Характеристика | Периодичность | | | | |
|---------------------|--|---------------|-------------|----------------|--------------|------------|
| | | каждый час | каждый день | каждую неделю | каждый месяц | каждый год |
| Обязательное | В настоящее время отсутствуют | | | | | |
| Рекомендуемое | Расположение айсберга | | | H | | |
| | Форма и размер айсберга | | | H | | |
| | Скопление айсбергов (на единицу площади) | | | H | | |
| Желательное | Движение айсберга | | A/H | | | |
| | Высота айсберга (над поверхностью воды) | | A/H | | | |
| | Ширина и длина айсберга (по ватерлинии) | | A/H | | | |
| | Осадка айсберга | | | A ^a | | |
| | Трехмерная модель подводной части | | | A ^a | | |

Обозначения:

A: автоматическое H: неавтоматическое

Примечание:

^a Каждые две недели

1.4.6 Морской лед

Морской лед, покрытые льдом озера и реки, а также айсберги оказывают влияние на крупные регионы, имеющие экономическое, экологическое и социальное значение.

Информацию о состоянии морского льда предоставляют национальные ледовые службы, осуществляющие непрерывный мониторинг морского льда, озерного и речного льда, а также айсбергов. К числу других органов, участвующих в таком мониторинге, относятся Международная ледовая разведка, а также научное сообщество, работающее в масштабах полушарий, околополярных областей и регионов. Для оперативных целей многие свойства льда отображаются на ледовых картах в виде двухмерных (2D) параметров (полигонов). Однако очевидно, что спутниковое дистанционное зондирование является основным источником данных для мониторинга морского льда, хотя не все ключевые параметры можно наблюдать с достаточной точностью с помощью космических измерительных приборов. Измерения *in situ*, с берега, судовые и бортовые измерения являются важным дополнительным, а иногда и основным источником информации. Такие инициативы, особенно в области судовых и бортовых измерений, в значительной степени осуществляются в поддержку научных исследований. Стандартные процедуры наблюдений (такие как [Протокол наблюдения за поведением морского льда и климатом в Антарктике](#) (АСПЕКТ) и [Инструмент стандартизации наблюдений за морским льдом](#)

с арктических судов (АССИСТ)) крайне важны для успешного получения данных. В последнее время предпринимаются усилия по унификации протоколов наблюдений в Антарктике и Арктике.

Таблица 1.6. Список обязательных, рекомендуемых и желательных измерений характеристик морского льда

| Категория измерения | Характеристика | Периодичность | | | | |
|--------------------------------------|--|----------------------------|-------------|----------------|--------------|------------|
| | | каждый час | каждый день | каждую неделю | каждый месяц | каждый год |
| Обязательное | В настоящее время отсутствуют | | | | | |
| Рекомендуемое | Толщина морского льда | A | | H ^a | | |
| | Надводная часть морского льда | A | | H ^a | | |
| | Стадия таяния морского льда | | | H | | |
| | Класс морского льда (дрейфующий или припай) | | H | | | |
| Рекомендуемое – для дрейфующего льда | Вид морского льда (ровный/наслоенный/торосы и дескриптор ледяного поля) | | H | | | |
| | Форма льда (размер ледяного поля) | | | H | | |
| Желательное | Разводье в морском льду (расщелины, полыньи, разломы) | | A | | | |
| | Скорость морского льда | A | H | | | |
| | Деформация морского льда (дивергенция/конвергенция) | A | H | | | |
| | Протяженность морского ледяного гребня (концентрация и высота ледяных гребней) | A | H | | | |
| | Осадка морского льда | | | H ^a | | |
| | Профиль солёности морского льда (вертикальный) | | | H ^a | | |
| | Стратиграфия морского льда | | | H ^a | | |
| | Температура поверхности (на границе поверхности и воздуха) | A | | | | |
| | Профиль температуры морского льда (вертикальный) | A | | H ^a | | |
| | Спутниковое (не <i>in situ</i>) | Концентрация морского льда | | A/H | | |

Обозначения:

A: автоматическое H: неавтоматическое

Примечание:

^a Каждые две недели

1.4.7 **Озерный лед****Таблица 1.7. Список обязательных, рекомендуемых и желательных измерений характеристик озерного льда**

| Категория измерения | Характеристика | Периодичность | | | | |
|---------------------|--|---------------|-------------|----------------|--------------|------------|
| | | каждый час | каждый день | каждую неделю | каждый месяц | каждый год |
| Обязательное | В настоящее время отсутствуют | | | | | |
| Рекомендуемое | Толщина льда | A | | H ^a | | |
| | Концентрация льда | | A/H | | | |
| | Класс морского льда (дрейфующий или припай) | | H | | | |
| | Вид морского льда (ровный/наслоенный/торосы и дескриптор ледяного поля) | | H | | | |
| | Форма льда (размер ледяного поля) | | | H | | |
| | Стадия развития льда | | | H | | |
| | Ледовые явления (даты начала ледостава, формирования/откола припая, начала таяния, вскрытия) | | | A/H | | H |
| | Стадия таяния льда | | H | | | |
| Желательное | Площадь распространения плавучих льдов/льда, севшего на мель | | | H | | |
| | Температура поверхности льда | A | | | | |
| | Разводье во льду (расщелины, полыньи, разломы) | | A | | | |
| | Скорость льда | A | H | | | |
| | Деформация морского льда (дивергенция/конвергенция) | A | H | | | |
| | Высота ледяного гребня | A | H | | | |
| | Протяженность морского ледяного гребня (концентрация ледяных гребней) | A | H | | | |
| | Стратиграфия льда | | | H ^a | | |
| | Профиль температуры льда (вертикальный) | A | | H ^a | | |

Обозначения:

A: автоматическое H: неавтоматическое

Примечание:

^a Каждые две недели

1.4.8 Речной лед

Таблица 1.8. Список обязательных, рекомендуемых и желательных измерений характеристик речного льда

| Категория измерения | Характеристика | Периодичность | | | | |
|---|--|---------------|----------------|----------------|--------------|------------|
| | | каждый час | каждый день | каждую неделю | каждый месяц | каждый год |
| Обязательное | В настоящее время отсутствуют | | | | | |
| Рекомендуемое | Толщина льда | A | | H ^a | | |
| | Концентрация льда | | A/H | | | |
| | Класс морского льда (дрейфующий или припай) | | H | | | |
| | Вид морского льда (ровный/наслоенный/торосы и дескриптор ледяного поля) | | H | | | |
| | Форма льда (размер ледяного поля) | | | H | | |
| | Стадия развития льда | | | H | | |
| | Ледовые явления (даты начала ледостава, формирования/откола припая, начала таяния, вскрытия) | | | A/H | | H |
| | Стадия таяния льда | | H | | | |
| | Речные ледяные заторы и дамбы | | H | | | |
| | Степень затопления, вызванного заторами и зажорами | | H | | | |
| | Наледь | | H | | | |
| Максимальный уровень | | H | | | | |
| Желательное | Площадь распространения плавучих льдов/льда, севшего на мель | | | H | | |
| | Температура поверхности льда | A | | | | |
| | Разводье во льду (расщелины, полыньи, разломы) | | A | | | |
| | Деформация морского льда (дивергенция/конвергенция) | A | H | | | |
| | Высота ледяного гребня | A | H | | | |
| | Протяженность морского ледяного гребня (концентрация ледяных гребней) | A | H | | | |
| | Стратиграфия льда | | | H ^a | | |
| Профиль температуры льда (вертикальный) | A | | H ^a | | | |

Обозначения:

A: автоматическое H: неавтоматическое

Примечание: ^a Каждые две недели

1.4.9 Многолетняя мерзлота

Изменения температуры многолетней мерзлоты часто отражают изменения приземного климата с течением времени и поэтому служат полезным показателем изменения климата. Глобальная сеть наблюдений за поверхностью суши — многолетняя мерзлота (ГСНПС-ММ) создала Международную ассоциацию по вечной мерзлоте (ИПА) для организации и управления глобальной сетью обсерваторий по наблюдению за многолетней мерзлотой в целях обнаружения признаков изменения климата, его мониторинга и прогнозирования. Существующие локальные сети нацелены на мониторинг ключевых параметров температурного состояния (TSP, температура грунта) и глубины активного слоя. Глобальная сеть наблюдений за поверхностью суши — многолетняя мерзлота (ГСНПС-ММ) обеспечивает доступ к этим данным. Кроме того, необходим глобальный мониторинг распространения вечной мерзлоты (см. План осуществления ГСНК (ВМО, 2016 год)).

Таблица 1.9. Список обязательных, рекомендуемых и желательных измерений характеристик многолетней мерзлоты

| Категория измерения | Характеристика | Периодичность | | | | |
|---------------------|--------------------------------------|---------------|-------------|---------------|--------------|----------------|
| | | каждый час | каждый день | каждую неделю | каждый месяц | каждый год |
| Обязательное | В настоящее время отсутствуют | | | | | |
| Рекомендуемое | Температура грунта | A | | | | |
| | Толщина активного слоя | | A | | | H |
| Желательное | Скорость сползания горных ледников | | | | | H ^a |
| | Сток горных ледников | H | | | | |
| | Весенние температуры горных ледников | H | | | | |
| | Сезонное пучение/проседание грунта | | | | | H |
| | Изменение высоты поверхности | | | | | H ^b |
| | Объем гололедицы | | | | | H |
| | Отступление береговой линии | | | | | H |
| | Влажность почвы | | A | | H | |

Обозначения:

A: автоматическое H: неавтоматическое

Примечания:

^a Раз в полгода

^b Многолетнее

1.4.10 Сезонно-мерзлый грунт

Таблица 1.10. Список обязательных, рекомендуемых и желательных измерений характеристик сезонно-мерзлого грунта

| Категория измерения | Характеристика | Периодичность | | | | |
|---------------------|-------------------------------|---------------|-------------|---------------|--------------|------------|
| | | каждый час | каждый день | каждую неделю | каждый месяц | каждый год |
| Обязательное | В настоящее время отсутствуют | | | | | |
| Рекомендуемое | Температура грунта | A | | | | |

Обозначения:

A: автоматическое H: неавтоматическое

1.4.11 **Приземная метеорология (на станциях КристоНет)**

Таблица 1.11. Список обязательных, рекомендуемых и желательных измерений приземных метеорологических переменных

| Категория измерения | Характеристика | Периодичность | | | | |
|---------------------|--------------------------------------|---------------|-------------|---------------|--------------|------------|
| | | каждый час | каждый день | каждую неделю | каждый месяц | каждый год |
| Обязательное | Температура воздуха | А | | | | |
| | Влажность воздуха | А | | | | |
| | Скорость ветра | А | | | | |
| | Направление ветра | А | | | | |
| Рекомендуемое | Атмосферное давление | А | | | | |
| | Приходящая коротковолновая радиация | А | | | | |
| | Отражаенная коротковолновая радиация | А | | | | |
| Желательное | Приходящая длинноволновая радиация | А | | | | |
| | Уходящая длинноволновая радиация | А | | | | |
| | Осадки | А | | | | |

Обозначения:

А: автоматическое Н: неавтоматическое

1.5 **НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ**

Внедрение передовых методов, руководящих принципов и стандартов криосферных измерений предполагает ведение учета неопределенности данных, обеспечение однородности, взаимодействия и совместимости данных наблюдений со всех образующих ГСК систем наблюдений и мониторинга и производной криосферной продукции.

Кроме того, будут регулярно проводиться кампании по взаимному сопоставлению приборов для определения и сравнения эксплуатационных характеристик приборов в полевых условиях, а также для установления связи между показаниями различных приборов.

ССЫЛКИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Всемирная метеорологическая организация, 2008: *Руководство по гидрологической практике* (ВМО-№ 168), том I. Женева.
- Fierz, C., R. L. Armstrong, Y. Durand, P. Etchevers, E. Greene, D. M. McClung, K. Nishimura, P. K. Satyawali and S. A. Sokratov, 2009: *The International Classification for Seasonal Snow on the Ground*. Paris, UNESCO-IHP, <https://cryosphericsscience.org/publications/snow-classification/>, accessed 23 January 2018).
- Global Cryosphere Watch, 2018: Global Cryosphere Watch, Cryosphere Glossary, <http://globalcryospherewatch.org/reference/glossary.php>, accessed 19 January 2018.
- Jacka, T.H. and A.B. Giles, 2007: Antarctic iceberg distribution and dissolution from ship-based observations. *Journal of Glaciology*, 53(182):341–356.
- National Snow and Ice Data Center, 2018: Cryosphere Glossary. Boulder, CO, USA, <https://nsidc.org/cryosphere/glossary>, accessed 23 January 2018.
- Romanov, Y., N.A. Romanova and P. Romanov, 2011: Shape and size of Antarctic icebergs derived from ship observation data. *Antarctic Science*, 24(1):77–87.
- World Meteorological Organization, 1992: Snow cover measurements and areal assessment of precipitation and soil moisture (B. Sevruk, ed.). *Operational Hydrology Report No. 35* (WMO-No. 749). Geneva.
- , 2016: *The Global Observing System for Climate: Implementation Needs* (GCOS-200, GOOS-214). Geneva.
-

ГЛАВА 2. ИЗМЕРЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

2.1 ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

В этой главе описывается ряд наиболее распространенных методов измерения снежного покрова, даются рекомендации по процедурам и передовой практике создания сети мониторинга снежного покрова, а также приводятся типичные источники ошибок при измерении снежного покрова на поверхности земли (где «поверхность земли» или «опорная поверхность» может обозначать любую поверхность отсчета ниже верхней границы снежного покрова, например почву, ледник и морской лед). Приведенная информация относится как к неавтоматическим, так и к автоматическим измерениям (где это применимо), за исключением измерения осадков, которое описывается как метеорологическая переменная величина в главе 6 тома I настоящего Руководства. В настоящее Руководство включены следующие измерения снежного покрова: высота снежного покрова (ВС, высота снега), толщина снежного покрова (ТС), водный эквивалент снежного покрова (ВЭС), высота слоя выпавшего снега (ВНС, высота нового снега), наличие снега на поверхности земли (НСП).

2.1.1 Определения, единицы измерения и шкалы

В общем снежный покров представляет собой накопление снега на опорной поверхности, а в частности – участок земной поверхности, покрытый снегом (НЦДСЛ, 2018); этот термин следует использовать в отношении снега на поверхности земли с точки зрения климатологии. Для обозначения неглубокого и глубокого снежного покрова в этой главе мы определяем покров глубиной 50 см или менее как неглубокий снежный покров.

Снегозапас – это накопление снега в определенном месте и в определенное время; этот термин следует использовать в отношении снега на поверхности земли с точки зрения его физических и механических свойств.

За опорную поверхность принимается граница в нижней части снежного покрова или снегозапаса: это поверхность земли в случае почвы и поверхность ледников, фирновых полей, морского льда и т. д., если снег лежит на другом компоненте криосферы.

Снежный слой образуется в результате перемежающихся осадков, действия ветра и непрерывного метаморфизма снега. Отдельные слои снега образуют снегозапас, и каждый такой стратиграфический слой отличается от соседних с ним слоев сверху и снизу по крайней мере одной из следующих характеристик: микроструктура или плотность, которые совместно определяют тип снега; жесткость снега; водосодержание; соленость; химический состав; содержание изотопов; или примеси, и все эти характеристики вместе описывают состояние этого типа снега. Таким образом, тип и состояние снега, образующего слой, должны определяться в каждый момент времени, поскольку от этих показателей зависят его физические, химические и механические свойства (Fierz et al., 2009). Следует иметь в виду, что слой снега нельзя классифицировать по одному параметру, например по форме зерен.

Высота снежного покрова (ВС (HS)) определяется как вертикальное расстояние от поверхности снега до заданного уровня отсчета и должна сообщаться в сантиметрах (см) с округлением до ближайшего сантиметра. В большинстве случаев уровень отсчета соответствует опорной поверхности; на ледяных щитах он может относиться к высоте, зарегистрированной в определенное фиксированное время. Толщина снежного покрова (ТС (DS)) – перпендикулярное расстояние от поверхности снега до заданного уровня отсчета – связана с ВС через угол наклона φ следующим образом:

$$DS = HS \cdot (\cos \varphi) \quad (2.1)$$

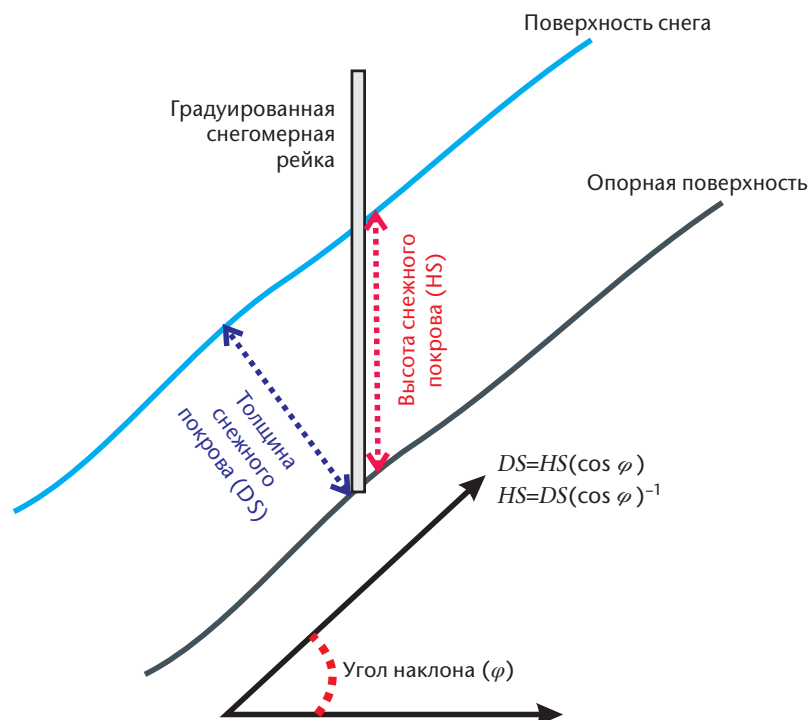


Рисунок 2.1. Взаимосвязь между ВС и ТС на склоне

Угол наклона – это острый угол, измеренный от горизонтальной плоскости склона (см. рис. 2.1). И наоборот, HS может быть вычислена из DS следующим образом:

$$HS = DS \cdot (\cos \varphi)^{-1} \quad (2.2)$$

Если не указано иное, измерение высоты снежного покрова означает измерение в одном месте в заданное время.

Водный эквивалент снежного покрова (ВЭС) — это вертикальная глубина воды, которая была бы получена, если бы снежный покров полностью растаял, что равно массе снежного покрова на единицу площади. Он выражается либо в мм водного эквивалента, либо в кг на м², где настоятельно рекомендуется добавлять «водный эквивалент» к единице длины. Водный эквивалент снежного покрова представляет собой произведение высоты снега в метрах и интегрированной по вертикали плотности в килограммах на кубический метр (Goodison et al., 1981, p. 224). Он может относиться к снежному покрову в определенном регионе или к пробе снега, собранной в ограниченном пространстве в конкретном районе. Данные о ВЭС должны сообщаться с точностью до 1 мм водного эквивалента или 1 кг на м⁻².

Характеристики снега определяют физические, механические и химические свойства снежного слоя (определение снежного слоя см. в разделе 2.1.1 выше). К ним относятся плотность, размер и форма зерен, жесткость, водосодержание, соленость, примеси и содержание изотопов. Традиционно характеристики снега наблюдаются послойно. Однако в будущем многие из них будут записываться в виде непрерывных профилей.

Высота слоя выпавшего снега (ВНС) — это вертикальная высота в сантиметрах свежеснега, который накопился на опорной поверхности или на снегомерной доске за определенный период, обычно за 24 часа. При сообщении о ВНС для периодов наблюдения, отличных от 24 часов, этот период должен быть добавлен в скобках к символу (например, 8-часовое измерение будет выражено как ВНС(8ч)). Высота слоя выпавшего

снега указывается в сантиметрах и округляется до ближайшего сантиметра. Как и в случае с ВС, перпендикулярное измерение выпавшего снега, ТНС, связано с ВНС через угол наклона φ .

Наличие снега на поверхности земли (НСП) — это бинарное наблюдение наличия снежного покрова в месте измерения. Размер места измерения соответствует приборному комплексу и как правило составляет около 50 м x 50 м, но не менее 10 м x 10 м.

2.2 РАЗМЕЩЕНИЕ И УСТАНОВКА ПРИБОРОВ

Характеристики места измерения должны быть отражены в метаданных станции. Важные сведения о месте проведения измерений снега, которые должны быть указаны в метаданных, включают, в частности, уклон, ориентацию, тип поверхности (минеральная почва или органические слои, состояние растительного покрова, лед и т. д.), преобладающее направление ветра, схему участка и размещение приборов (включая расстояние до окружающих ветрозащитных барьеров). Как правило, идеальным местом для измерения снежного покрова является ровный, защищенный от ветра участок с относительно однородным снежным покровом и опорной поверхностью. Вместе с тем, участок, где проводятся измерения, должен быть репрезентативным с точки зрения окружающего ландшафта. Например, если окружающий ландшафт является открытым (таким как плоская равнина без существенных препятствий для ветра), измерения ВС или ВЭС не должны проводиться внутри нерепрезентативного укрытого от ветра участка. Исключением является измерение высоты слоя выпавшего снега, которое, по возможности, должно производиться в защищенном месте, чтобы минимизировать воздействие ветра. В лесистых участках предпочтительно выбирать место для проведения измерений на просеке. В горных районах следует выбирать плоский участок достаточно большого размера для проведения репрезентативного измерения без краевых эффектов, и следует избегать водосборных бассейнов, склонов и хребтов. Горные участки в особенности должны быть защищены от преобладающего ветра и очищены от крупных камней. На высокогорных станциях следует избегать измерений на участках с более интенсивным воздействием, чем в окружающем ландшафте, поскольку такое воздействие может привести к нерепрезентативным сезонным темпам таяния и дать нерепрезентативные измерения.

Для ручного измерения ВС или ВЭС в точке необходимо обустроить участок для проведения измерений до начала снежного сезона. Оптимальный участок представляет собой площадку размером 10 x 10 м, которая может оставаться сравнительно нетронутой в течение зимы (то есть достаточно удаленной от пешеходных дорожек или приборов, которым может потребоваться обслуживание в течение зимы, так чтобы обслуживание приборов не повлияло на участок, где проводятся измерения снежного покрова). Уже имеющиеся знания о распределении высоты снежного покрова на участке, где проводятся измерения, помогают выбрать пространственно репрезентативные точечные измерения. Необходимо соблюдать осторожность, чтобы препятствия или изменчивость воздействия не привели к преимущественному накоплению или размыву из-за поземки либо к преимущественному таянию из-за воздействия. Измерения следует проводить вдали от препятствий, на расстоянии, по крайней мере, в два раза превышающем высоту препятствия, однако для того, чтобы убедиться в том, что это расстояние является достаточным, необходимо провести оценку местности с учетом воздействия (и затенения) и преобладающего направления ветра в зимний период.

Соображения относительно мест размещения автоматического прибора для измерения ВС или ВЭС должны быть такими же, как и при размещении приборов для проведения точечных измерений, даже если принцип работы автоматических приборов для измерения ВЭС предусматривает большую пространственную интеграцию. Следует признать, что для автоматических приборов может быть трудно обеспечить наличие расстояния между прибором и препятствием, по крайней мере, в два раза превышающего высоту препятствия, с учетом близкого расположения конструкций для крепления приборов, поэтому необходимо делать исключения. Как и в случае с ВС, точечное измерение ВЭС,

скорее всего, не будет репрезентативным относительно окружающего ландшафта, только если область измерения не является очень однородной. В связи с этим, для оценки пространственной репрезентативности точечных измерений рекомендуется проводить обширную съемку ВС и ВЭС не реже одного раза в сезон (см. 2.3.1.2 и 2.4.1.2), приуроченную к моменту максимального накопления. Поскольку пространственная изменчивость объемной плотности снежного покрова обычно гораздо ниже, чем его высота (Dickinson and Whitely, 1972), изменчивость часто можно оценить только по результатам съемки ВС.

Измерение ВНС должно проводиться там, где новый снег, выпавший на участке проведения измерений, является репрезентативным для окружающей местности. Это лучше всего делать в защищенном месте, где воздействие ветра будет минимальным и где снег может свободно падать. Как и при измерении осадков, окружающие препятствия должны находиться на достаточном расстоянии (примерно в два раза превышающем высоту препятствия), чтобы не мешать проведению измерения.

Постоянные снегомерные разрезы, которые также называют системами снегомерных реек, следует размещать на местности, используя те же критерии, что и при точечных измерениях, на достаточном расстоянии от приборов, препятствий и пешеходных дорожек для минимизации помех, не ставя под угрозу способность наблюдателя читать показания реек. Разрез будет обязательно проходить ближе к дорожке, которую будет использовать наблюдатель для проведения измерений, чтобы при этом избежать воздействия на участок измерений, насколько это возможно.

Наконец, при размещении приборов следует учитывать доступность и постоянство, что в конечном итоге повлияет на непрерывность ведения записей. Для автоматических измерений еще одним соображением при выборе места размещения также может стать источник имеющейся электроэнергии и связи.

2.3 ВЫСОТА СНЕЖНОГО ПОКРОВА

2.3.1 Неавтоматические измерения высоты снежного покрова

2.3.1.1 Методы проведения измерений

Градуированные устройства

Неавтоматические измерения ВС производятся с помощью жесткой линейки, рейки (см. рис. 2.2, слева и в центре) или телескопической градуированной штанги (см. рис. 2.2, справа). Измерения могут состоять из наблюдения в одной точке или во многих точках разреза. В отличие от точечных измерений, наблюдение за различными значениями высоты снежного покрова в разрезе позволяет наблюдателю оценить пространственную изменчивость на участке, где проводятся наблюдения. Измерительный прибор может быть стационарно закреплен на земле (рейка) или вставляться в точку наблюдения вручную (штанга) перед каждым измерением.

Измерения высоты снежного покрова на удаленных участках с глубоким снежным покровом можно проводить с помощью вертикальных снегомерных реек с горизонтальными поперечинами, которые установлены через фиксированные промежутки и видны с большого расстояния (см. рис. 2.3).

Фотометрия

На участках без обслуживающего персонала приемлемой альтернативой визуальному наблюдению за снегомерными рейками является автоматическая фотометрия по графику (например, с помощью веб-камеры), которая позволяет фотографировать снегомерные



Рисунок 2.2. Градуированные снегомерные рейки в глубоком снежном покрове в горах (слева, Пиренеи, Испания; фото предоставлено Государственным метеорологическим агентством Испании) и в неглубоком снежном покрове (в центре, южная часть провинции Онтарио, Канада; фото предоставлено Министерством охраны окружающей среды Канады (МООСК)). Телескопическая снегомерная штанга с градуировкой 1 см (справа, фото предоставлено МООСК)



Рисунок 2.3. Вертикальная снегомерная рейка с горизонтальными поперечинами (слева, фото предоставлено Швейцарским институтом исследования снега и лавин, ВСЛ, Давос, Швейцария) и полосами с цветовой маркировкой (справа, фото предоставлено Государственным метеорологическим агентством Испании)

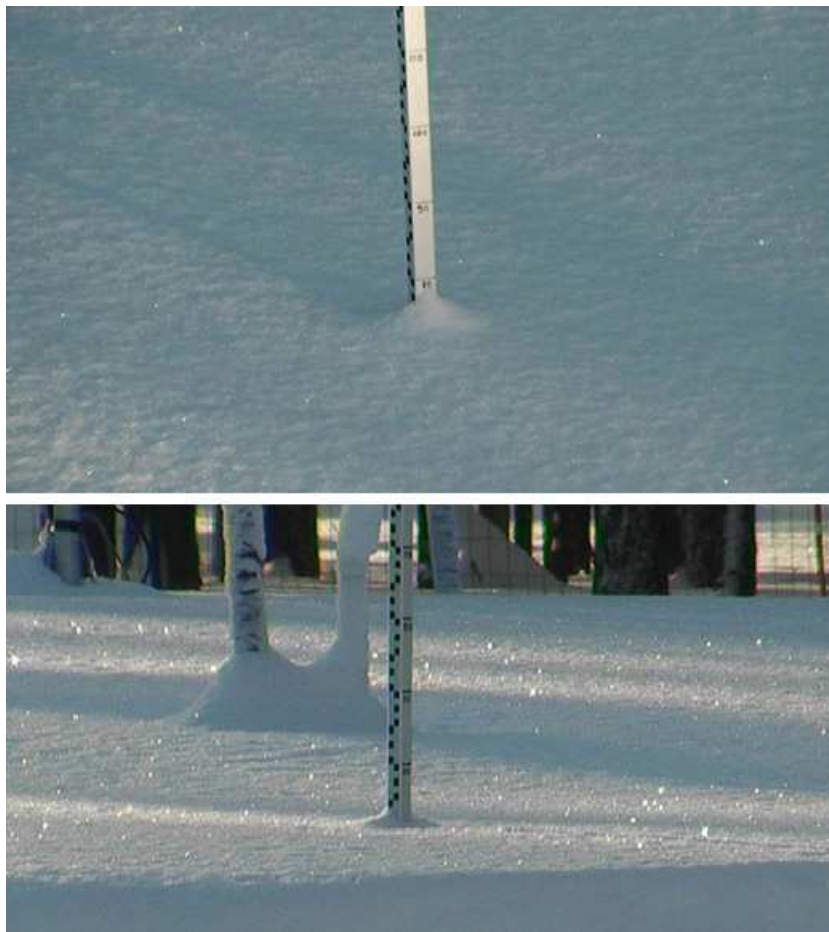


Рисунок 2.4. Снегомерная рейка, сфотографированная веб-камерой под увеличенным углом падения к рейке (Соданкюля, Финляндия, фото предоставлено Финским метеорологическим институтом)

рейки и вручную определять высоту снежного покрова по изображениям (см. рис. 2.4). Высота снежного покрова может быть получена в режиме реального времени или позднее из сохраненных изображений.

Электронный зонд

Еще одним вариантом, особенно для съемок в неглубоком снежном покрове, является использование регистрирующего снегомерного зонда, оснащенного антенной ГНСС (см. рис. 2.5; Sturm and Holmgren, 1999). Зонд вводится в снежный покров до соприкосновения с опорной поверхностью, измеряет высоту снега электронным способом и сохраняет эти данные для последующего извлечения.

2.3.1.2 Процедуры измерения и передовая практика

Измерительный прибор

Измерительным прибором для ручного измерения ВС должна служить градуированная рейка (стационарное измерение) или градуированная линейка или штанга (нестационарное измерение) с градуировкой в сантиметрах. Выбор измерительного прибора может зависеть как от срока установки, так и от типа измеряемого снежного покрова. Независимо от срока установки, место измерения должно быть одним и тем же для каждого измерения, как описано ниже.



Рисунок 2.5. Регистрирующий снегомерный зонд, оснащенный антенной ГНСС (арктический регион Канады, фото предоставлено Министерством охраны окружающей среды Канады)

Для стационарных (фиксированных) или полустационарных (то есть фиксированных в течение сезона) установок для точечных измерений в качестве измерительного прибора рекомендуется использовать фиксированную снегомерную рейку (см. рис. 2.2, слева) с хорошо видимыми делениями, чтобы их можно было прочесть на расстоянии. Снегомерная рейка должна быть установлена вертикально и прочно закреплена на земле в бетонном основании или с помощью колышков. Если рейка устанавливается на сезон, важно каждый год размещать ее в одном и том же месте. Предпочтительно использовать дифференциальную глобальную систему определения местоположения (дифференциальная GPS); в противном случае следующим вариантом является определение места установки по ориентирам. Рейка должна быть изготовлена из материала с относительно низкой теплопроводностью и низкой теплоаккумулирующей способностью (например, дерево или стекловолокно) и окрашена в белый цвет (высокое альbedo), чтобы минимизировать таяние вокруг рейки. Если рейки будут фотографироваться в условиях недостаточной освещенности, для улучшения видимости можно использовать градуировку из светоотражающего материала. Для улучшения качества фотографий при фотографировании снегомерных реек в условиях низкой освещенности может потребоваться специализированная фотоаппаратура с инфракрасной подсветкой или внешний источник света (например, светодиодный). Угол между камерой и снегомерной рейкой должен быть как можно меньше, чтобы свести к минимуму интерпретацию снеговой линии на фоне рейки. Следует обратить внимание на ориентацию камеры относительно прямого солнечного света и затенения.

При ручных измерениях ВС без установки постоянных реек (то есть нестационарных), в снегозапас до поверхности земли может быть вставлена линейка (например, алюминиевая или деревянная мерная линейка). Для измерения глубокого и/или плотного снегозапаса или снегозапаса со слоями льда рекомендуется использовать снегомерную штангу, которую можно протолкнуть через снег до соприкосновения заостренного конца с поверхностью, и удлинить ее при необходимости в глубоком снежном покрове. В отличие от линейки штанга не будет изгибаться при введении в глубокий или плотный снежный покров.

Для пространственно распределенных измерений ВС длина и количество реек на линии разреза будут определяться изменчивостью снежного покрова в месте съемки. Как правило, линия разреза состоит из 5-10 реек, установленных на расстоянии 5-10 метров друг от друга. Согласно Neumann et al. (2006), минимальная длина разреза может быть определена путем оценки изменения коэффициента вариации (КВ) с увеличением длины разреза, где КВ определяется как отношение стандартного отклонения к среднему значению проб, выраженное в процентах. Постоянный КВ указывает на то, что линия разреза учитывает местную изменчивость. López-Moreno et al. (2011) отмечают, что с учетом размеров участка (т.е. 10 м x 10 м) ошибку можно минимизировать за счет получения от 5 до 10 измерений с расстоянием не менее 2 м между ними.

Протоколы измерений

Снегомерные рейки следует наблюдать с достаточного расстояния, чтобы не нарушить снежный покров рядом с рейкой. Наблюдения необходимо производить параллельно поверхности снега. Этого можно добиться, если наблюдатель будет смотреть на деления на рейках с подходящей точки обзора, расположенной близко к поверхности снежного покрова. Рекомендуется каждый раз проводить наблюдения примерно с одной и той же точки наблюдения, особенно если наблюдателей несколько. Эту точку наблюдения следует определить до начала сезона измерений. При наличии горки, углубления или неравномерного распределения снега вокруг снегомерной рейки в момент наблюдения может потребоваться некоторая интерполяция наблюдателем, чтобы можно было получить среднее значение ВС по лицевой стороне снегомерной рейки (см. рис. 2.6). Следует записывать данные о высоте снежного покрова, номере рейки (если их несколько) и времени наблюдения наряду с любой соответствующей текущей информацией о погоде, такой как наличие и интенсивность осадков во время наблюдения. При усреднении данных по нескольким рейкам на линии разреза, полученное среднее значение следует округлять до ближайшего сантиметра. Если более 50 % поля измерений оголено (см. 2.7), в журнал заносится высота снега 0 см, даже если у самой рейки есть снег.

Для наблюдения высоты снежного покрова с помощью нестационарных приборов применяются те же принципы, что и выше. Наблюдение следует проводить каждый раз в одном и том же месте, учитывая, что для измерения нетронутого снега может

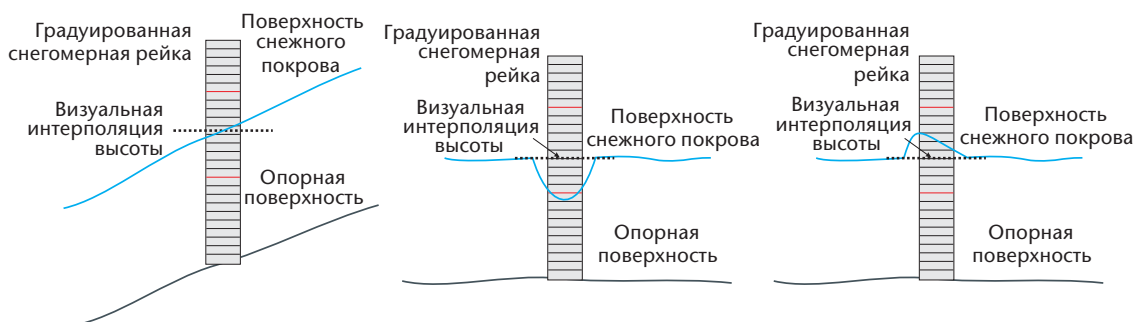


Рисунок 2.6. Поперечное сечение стационарной снегомерной рейки, иллюстрирующее методы интерполяции и наблюдения неравномерной ВС с лицевой стороны рейки из-за наклонной поверхности снега (слева), углубления (посередине) и горки (справа).

потребуется некоторая корректировка места. Во время каждого наблюдения наблюдатель должен идти по одному и тому же маршруту, максимально удаляясь от маршрута для измерения нетронутого снега. Линейка или штанга вставляются в снежный покров до упора, чтобы пройти все слои плотного снега или льда. Наблюдатель должен убедиться, что прибор достиг опорной поверхности, но необходимо соблюдать осторожность, чтобы не проникнуть в мягкую почву или органические слои (чрезмерное зондирование) и тем самым не завысить ВС. Наблюдатель должен владеть предварительной информацией о характере поверхности под снегом и опираться на свое собственное суждение. На наклонных поверхностях штангу (или лавинный зонд) следует вводить в снегозапас вертикально до опорной поверхности. Для обеспечения правильного наклона при измерении можно использовать клинометр. Измерение или оценку угла наклона (φ) необходимо включить в метаданные измерения. Эти методы также применяются при измерении высоты снежного покрова в разрезах с помощью электронного зонда. Обратите внимание, что электронный зонд, скорее всего, будет оснащен плоским кольцом (см. рис. 2.5), которое остается на поверхности снега во время измерения. Возможность завышенной оценки присутствует в том случае, если наклон крутой и кольцо не расположено вровень с поверхностью. Этот факт необходимо указать в метаданных измерения вместе с оценкой погрешности.

Фотометрия

При наблюдении за снегомерными рейками с помощью фотометрии камера должна находиться под самым маленьким углом падения, который возможно обеспечить практически с поверхности снега вблизи рейки. При интерпретации среднего уровня снега на фоне снегомерной рейки наблюдатель должен руководствоваться здравым смыслом, учитывая угол обзора. Следует признать, что это может быть затруднительно, особенно в условиях низкой освещенности, что повышает неопределенность фотометрического измерения по сравнению с визуальным измерением. При использовании автоматических методов получения информации их следует всесторонне сравнивать с данными, полученными при неавтоматической съемке, и надлежащим образом контролировать качество.

2.3.1.3 Источники ошибки

К источникам ошибки при ручных измерениях ВС относятся ошибки наблюдателя при считывании или записи измерений либо при нахождении опорной поверхности с помощью снегомерной штанги (при нестационарных измерениях), вспучивание грунта, на котором установлены стационарные рейки, при промерзании, неудачный выбор места для проведения измерений и неправильная интерпретация сфотографированной ВС из-за угла наблюдения. Много ошибок при ручных измерениях возникает из-за неверной интерпретации показаний ВС или из-за неправильной записи в журнале. Их можно свести к минимуму, если соблюдать процедуры измерения. Многие из этих источников ошибок можно минимизировать при должной внимательности и опыте наблюдателя. Ошибки в измерениях такого типа как правило можно устранить за счет процессов контроля качества данных (проверки диапазона и скачков).

Ошибка измерения может возникнуть, когда наблюдатель неправильно определяет расположение опорной поверхности с помощью снегомерной линейки или штанги. При глубоком снежном покрове наблюдатель может ошибочно принять глубокий слой льда за опорную поверхность, поскольку его может быть трудно пробить снегомерной штангой; это приведет к недооценке ВС. И наоборот, мягкий органический слой также будет трудно распознать как опорную поверхность, что приведет к избыточному зондированию и завышенной оценке ВС. Этих ошибок можно избежать при наличии предварительных знаний о состоянии опорной поверхности и опыта у наблюдателя. Они не возникают при стационарных измерениях высоты снежного покрова. Величина таких ошибок, в зависимости от характера снегозапаса и опорной поверхности, может составлять от нескольких сантиметров до десятков сантиметров.

В стационарных разрезах ошибки в наблюдениях за ВС могут возникать, если высота снегомерной рейки относительно земли меняется из-за мороза, что приводит к недооценке ВС. Как правило, величина таких ошибок составляет не более нескольких сантиметров.

При неудачном выборе места для проведения измерений высоты снежного покрова (см. 2.2), как при использовании одной рейки, так и многоточечного разреза, могут возникать большие ошибки, величина которых зависит от среднего значения измерений на участке и изменчивости, но потенциально может равняться среднему значению или даже превышать его, причем относительная величина ошибки будет увеличиваться с уменьшением высоты снежного покрова. В результате неправильного выбора места для измерения высоты снежного покрова рейка может оказаться в снежном наносе или на участке с эрозией снега. Эту ошибку можно минимизировать, устанавливая снегомерные рейки там, где известно, что высота снежного покрова относительно однородна, обычно в защищенных местах. Если это невозможно и наблюдатель считает, что измерения с рейки нерепрезентативны, наблюдение следует заменить пространственно распределенными нестационарными наблюдениями, отметив это в соответствующем поле метаданных участка.

Ошибки в интерпретации как визуально наблюдаемых, так и сфотографированных реек, особенно при большом угле обзора и неровном снеге вокруг рейки (горка, углубление или уклон), могут достигать нескольких сантиметров, но такие ошибки обычно можно свести к минимуму при наличии опыта и соблюдении передовых методов проведения наблюдений с помощью реек.

2.3.2 Автоматические измерения высоты снежного покрова

2.3.2.1 Методы проведения измерений

Автоматические измерения ВС могут производиться с помощью приборов с использованием либо акустической, либо оптической (лазерной) технологии. Как акустические, так и оптические приборы измеряют расстояние до цели (то есть до снежного покрова, опорной поверхности или цели вровень с опорной поверхностью), а не расстояние от опорной поверхности до вершины снежного покрова. Хотя существуют и другие автоматические методы, эти два типа приборов наиболее широко распространены и используются чаще всего.

Акустические приборы

Акустические приборы передают ультразвуковой импульс в направлении цели и улавливают ответное эхо от этой цели. С поправкой на скорость звука при одновременном измерении температуры воздуха расстояние до цели рассчитывается следующим образом:

$$\text{Расстояние до цели} = \text{Показание прибора} \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{возд}}}{273.15}} \quad (2.3)$$

где $T_{\text{возд}}$ измеряется в кельвинах при том предположении, что первичные показания прибора верны для скорости звука при 0 °С.

Значение ВС можно получить, вычитая измеренное расстояние до цели из ранее полученного расстояния до опорной поверхности без снега (расстояние при нулевой высоте):

$$HS = \text{Расстояние при нулевой высоте} - \text{Расстояние до цели} \quad (2.4)$$

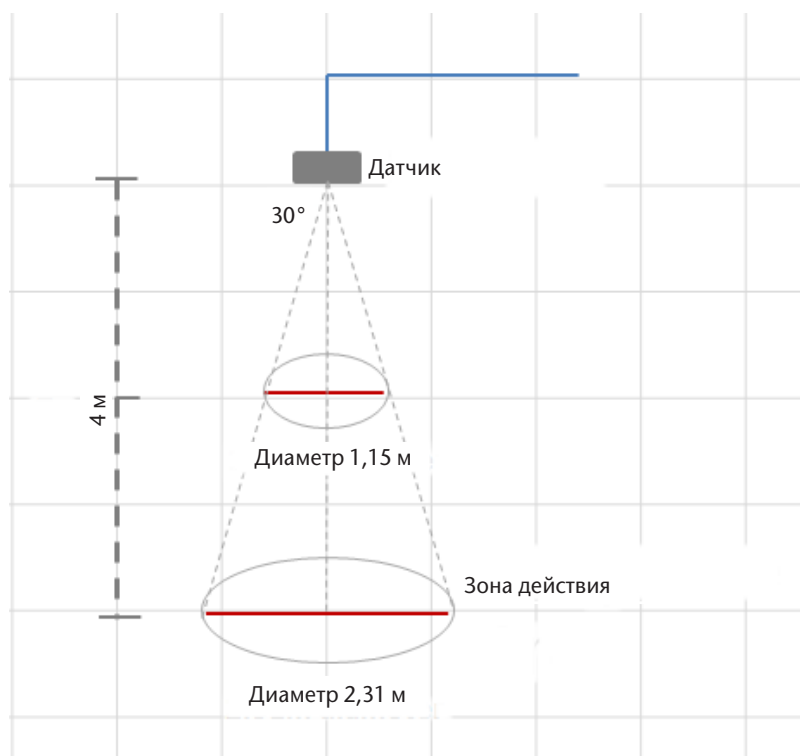


Рисунок 2.7. Концептуальная схема типичного акустического прибора и его зоны действия

Акустические приборы обычно измеряют расстояние до наиболее высоко расположенного препятствия в зоне действия автоматического прибора. Зона действия представляет собой конусообразную область, радиус которой зависит от высоты размещения прибора над целью (см., например, рис. 2.7).

Оптические приборы

Оптический или лазерный прибор испускает модулированный луч света в видимом спектре и определяет расстояние до цели путем сравнения информации о фазе отраженного луча. В отличие от акустических приборов, зона действия лазерного прибора довольно мала (радиус <5 мм на расстоянии 4 м). Оптические приборы обычно способны отображать значение силы сигнала, что может быть полезно для оптического определения наличия снега под прибором. Настоятельно рекомендуется использовать лазерный луч, классифицированный как безопасный для глаз (максимальный класс мощности 2).

2.3.2.2 Процедуры измерения и передовая практика

Выбор автоматических приборов

Выбор между автоматическим акустическим или лазерным прибором в основном зависит как от требований к погрешности измерений, так и от наличия источника электроэнергии. Лазерные приборы имеют более высокую степень точности ($\sim 0,1$ см) по сравнению с акустическими приборами (~ 2 см), но им требуется больше электроэнергии для работы, и они могут не подходить для измерений в удаленных районах, где энергопотребление имеет большое значение. В таком климате, где скопление снега или инея на приборе может препятствовать его работе (см. рис. 2.11), следует рассмотреть возможность использования обогреваемых акустических или лазерных приборов, учитывая, что для таких функций необходимо больше электроэнергии. Автоматические приборы для определения высоты снежного покрова следует приобретать у надежного поставщика и проверять на

работоспособность в соответствии со спецификациями производителя, чтобы обеспечить погрешность данных не более ± 2 см, но желательно не более ± 1 см. Правильная установка, использование и обслуживание прибора в соответствии с указаниями в этой главе и в руководстве по эксплуатации будут способствовать тому, чтобы при работе прибора достигалась указанная производителем погрешность.

Высота установки

Автоматические приборы следует устанавливать на достаточной высоте над максимальным предполагаемым снегозапасом. Минимальную и максимальную высоту установки над целью следует уточнить у производителя прибора. Например, некоторые акустические приборы должны быть установлены на расстоянии не менее 1 м между прибором и целью. В некоторых сетях максимальная высота снежного покрова может существенно варьироваться на разных станциях, поэтому не так важно, чтобы все приборы в сети были установлены на одной и той же высоте.

Монтажная конструкция

Монтажная конструкция должна быть прочной, чтобы предотвратить перемещение прибора (например, под действием ветра) и при этом минимизировать воздействие с точки зрения накопления и схода снега под прибором. Рекомендуется использовать стальные монтажные балки и вертикальные столбы, закрепленные в бетонном основании (см. рис. 2.8). Монтажный кронштейн акустического прибора должен выступать в горизонтальной плоскости и удерживать прибор на вертикальной монтажной стойке так, чтобы конструкция оказывала как можно меньшее влияние на целевую область (см. рис. 2.8, слева). В местах, где выпадает много снега при слабом ветре, горизонтальную монтажную балку рекомендуется устанавливать под углом от 30° до 45° (см. рис. 2.8, в середине), чтобы на балке не скапливался снег, что может повлиять на измерение высоты снежного покрова в целевой зоне. Лазерные приборы необходимо устанавливать под достаточно большим углом (например, от 10° до 20°), чтобы заданная целевая точка находилась на достаточном расстоянии от монтажной конструкции для минимизации помех от вертикального монтажного столба (см. рис. 2.8, справа).



Рисунок 2.8. Автоматический акустический прибор для измерения высоты снежного покрова со стальной монтажной балкой и столбом, закрепленным в бетонном основании (слева), наклонная монтажная балка для уменьшения накопления снега (посередине) и лазерный прибор, установленный под углом от вертикального монтажного столба (справа) (Соданкюля, Финляндия, фотографии предоставлены Финским метеорологическим институтом).

В горных районах, где прибор обязательно устанавливается на большей высоте над землей, конструкция может быть более основательной, чтобы надежно удерживать прибор и предотвращать вибрации при ветре. Пример такой конструкции показан на рисунке 2.9. Обратите внимание, что зона действия прибора также увеличивается по мере удаления прибора от цели (см. рис. 2.7).

Поверхностная цель

Высоту снежного покрова рекомендуется измерять на ровной поверхности, но если это невозможно из-за наклона местности, то измерение следует проводить перпендикулярно наклонной поверхности так, чтобы прибор измерял ТС, а не ВС. Для акустических приборов это достигается путем регулировки угла крепления прибора таким образом, чтобы сам прибор был направлен перпендикулярно поверхности. Поскольку лазерные приборы направлены на цель под углом, высоту снежного покрова на наклонной поверхности можно рассчитать геометрически (см. 2.1.1).

Необходимо подготовить поверхность еще до выпадения снега для минимизации шумовой характеристики прибора и ошибочных данных из-за помех от растительности на поверхности или других препятствий в зоне действия прибора. Надлежащим образом подготовленная целевая область увеличит возможности прибора по обнаружению первых скоплений снега на голой поверхности. Поскольку акустические приборы имеют гораздо большую зону действия по сравнению с лазерными, как правило, для них важнее обеспечить подготовку поверхности. Для чистого отражения звукового импульса акустических приборов необходима устойчивая, ровная поверхность, учитывая, что акустическое измерение обычно производится от самого высокого препятствия в зоне действия.



Рисунок 2.9. Акустический прибор для измерения высоты снежного покрова (Пиренеи, Испания, фото предоставлено Государственным метеорологическим агентством Испании)

Высококачественное измерение может быть обеспечено либо за счет установки прибора над коротко подстриженной травой (или другой ровной и голой естественной поверхностью, как под прибором на рис. 2.9), либо за счет использования целевой поверхности из искусственных материалов, аналогичной показанной на рис. 2.8, изготовленной из искусственного дерна. Приемлемым вариантом, не требующим обслуживания, является использование пластиковой поверхности, такой как перфорированная и текстурированная целевая конструкция, изображенная на рис. 2.10, тепловые характеристики которой, как было показано, аналогичны естественному грунту. Целесообразно обеспечить такие оптические свойства (что может влиять на баланс излучения) и текстуру (что может влиять на отложение снега или эрозию) искусственной цели, которые будут аналогичны природному окружению.

Рекомендуется проверить нулевое расстояние между прибором и поверхностью снежного покрова до сезона накопления и сразу после его окончания, чтобы определить погрешность прибора до накопления и проверить, изменилась ли эта погрешность за сезон. Относительное расстояние между прибором и целевой поверхностью может меняться из-за оседания (положительное изменение относительного расстояния) или вспучивания грунта из-за мороза (отрицательное изменение относительного расстояния) и повлияет на расчетное значение ВС в уравнении 2.4. Изменения расстояния до нулевой высоты снежного покрова между началом и концом зимнего сезона должны быть отмечены в метаданных участка, поскольку эти изменения влияют на неопределенность измерений. В результате небольших изменений расстояния до нулевой высоты снежного покрова в течение сезона измерений снизится надежность измерений при малой высоте снежного покрова (например, от 0 до 2 см), для измерения которой необходимо, чтобы относительное расстояние между прибором и целью оставалось постоянным при любых условиях.



Рисунок 2.10. Целевая область из серого перфорированного и текстурированного пластика во время строительства. Панели размером примерно 1,2 м x 1,2 м устанавливаются на деревянную раму (фото предоставлено Министерством охраны окружающей среды Канады).

Минимизация растительности и ее роста в целевой зоне позволит избежать неправильной интерпретации роста растительности как изменения высоты снежного покрова и, следовательно, повысит качество данных. Это имеет большее значение в регионах с небольшой высотой снежного покрова или кратковременным снежным покровом, где неопределенность измерений небольшой высоты имеет большее значение.

Контроль качества данных

Качество данных, получаемых от автоматических приборов, можно улучшить путем проведения частых (например, более одного раза в минуту) измерений в течение достаточно короткого периода времени, чтобы не происходило значительных изменений в ВС (например, пять минут), при этом за период будет сообщаться значение, равное медиане таких частых измерений. Это снижает влияние шума сигнала на сообщаемое значение. Кроме того, целесообразно использовать и другие процедуры контроля качества. Они должны включать проверку максимального и минимального (в зависимости от участка) диапазона для измерения ВС, где максимальное значение должно быть на ~20 % выше максимальной ожидаемой ВС, а минимальное значение должно равняться нулю за вычетом заявленной производителем погрешности прибора, умноженной на два. Минимальное значение для проверки диапазона менее нуля позволяет варьировать нулевое расстояние до высоты снежного покрова в пределах заявленной погрешности прибора без необходимости пометить данные, как выходящие за пределы диапазона. Также следует прибегать к проверке скачков, чтобы убедиться, что изменения ВС от одного измерения до следующего находятся в пределах физически реалистичного диапазона для данного участка. Обратите внимание, что расстояние до нулевой высоты следует проверять в конце каждой зимы и при необходимости корректировать погрешность. Отклонение расстояния до нулевой высоты, вызванное относительными изменениями высоты целевой поверхности и прибора, является источником погрешности измерений. Если можно определить время и величину отклонения, наблюдения можно легко скорректировать, но часто отклонение расстояния до нулевой высоты происходит нелинейно в период между началом и концом снежного сезона, что затрудняет корректировку данных. Изменение расстояния до нулевой высоты должно быть отмечено в метаданных.

2.3.2.3 Источники ошибки

Источниками ошибок при автоматических измерениях высоты снежного покрова является неисправность прибора, неподходящая или неправильная установка монтажной конструкции, смещение нулевой высоты, неправильная коррекция температуры при акустических измерениях, скопление инея или снега на приборе, препятствующее измерению, и изменчивость целевой области из-за быстрого таяния или дождя.

При автоматических точечных измерениях изменчивость под прибором можно свести к минимуму с помощью искусственной целевой поверхности на поверхности, особенно в сезон активного роста растительности и в начале периода накопления. Изменчивость, вызванную быстрым таянием (то есть большие колебания высоты по всей площади целевой зоны, особенно при глубоком снежном покрове), трудно предотвратить или скорректировать, но ее можно выявить с помощью ежедневной фотометрии целевого участка.

Неисправности прибора могут быть сведены к минимуму за счет надлежащего и планового технического обслуживания в соответствии с рекомендациями производителя. Поломки приборов также могут возникать в результате проблем с электропитанием, проводкой или регистратором данных (эксплуатационных или программных).

В результате неправильной установки прибора может возникнуть нежелательное движение во время ветра, что приведет к ошибочным или неточным измерениям из-за изменения относительного расстояния между прибором и поверхностью цели.

Нулевое отклонение высоты снежного покрова потенциально может привести к небольшим, но увеличивающимся ошибкам в измеряемой ВС, которые трудно оценить или скорректировать в течение зимнего сезона. Это воздействие следует оценивать ежегодно в конце каждой сезонной абляции, а расстояние до нулевой высоты снежного покрова следует обновлять перед началом следующего сезона накопления. При использовании искусственной целевой поверхности оседание наиболее вероятно в течение первого сезона накопления (из-за нарушенного грунта и веса снежного покрова на целевой поверхности), хотя вспучивание целевой поверхности из-за мороза может произойти во время любого зимнего сезона. В результате неправильной коррекции нулевой высоты в приборе, регистраторе данных или во время постобработки будут получены ошибочные данные о высоте снежного покрова.

Потенциально большие ошибки могут возникать в результате неправильных измерений температуры воздуха при их использовании для коррекции расстояний, определяемых акустически. Такое явление может быть связано с неисправностью прибора или возникать в результате радиационного нагрева неэкранированных или плохо экранированных температурных приборов. Эти ошибки можно минимизировать с помощью качественных радиационных экранов (например, отражающей конструкции белого цвета с хорошо вентилируемыми жалюзи для свободного прохождения воздуха) наряду с контролем качества температурных данных, используемых для акустической коррекции. По возможности измерения температуры следует проводить под аспирационным радиационным экраном для уменьшения погрешности от излучения. Как правило, погрешность, связанная с высотой установки прибора относительно профиля температур между прибором и целевой областью, невелика, даже если термометрический прибор установлен на той же высоте, что и прибор для измерения высоты снежного покрова, а не ближе к среднему расстоянию до цели.

Наконец, погрешность при автоматических измерениях ВС может возникать в результате накопления инея или снега на приборе (см. рис. 2.11). У некоторых приборов есть функция обогрева, которая позволяет свести к минимуму эту проблему, и ее следует использовать в тех местах, где это необходимо. Подогрев монтажных балок с помощью нагревательной ленты и использование угловых монтажных балок (см. рис. 2.8, в середине) также может помочь предотвратить образование снега и инея вокруг прибора.

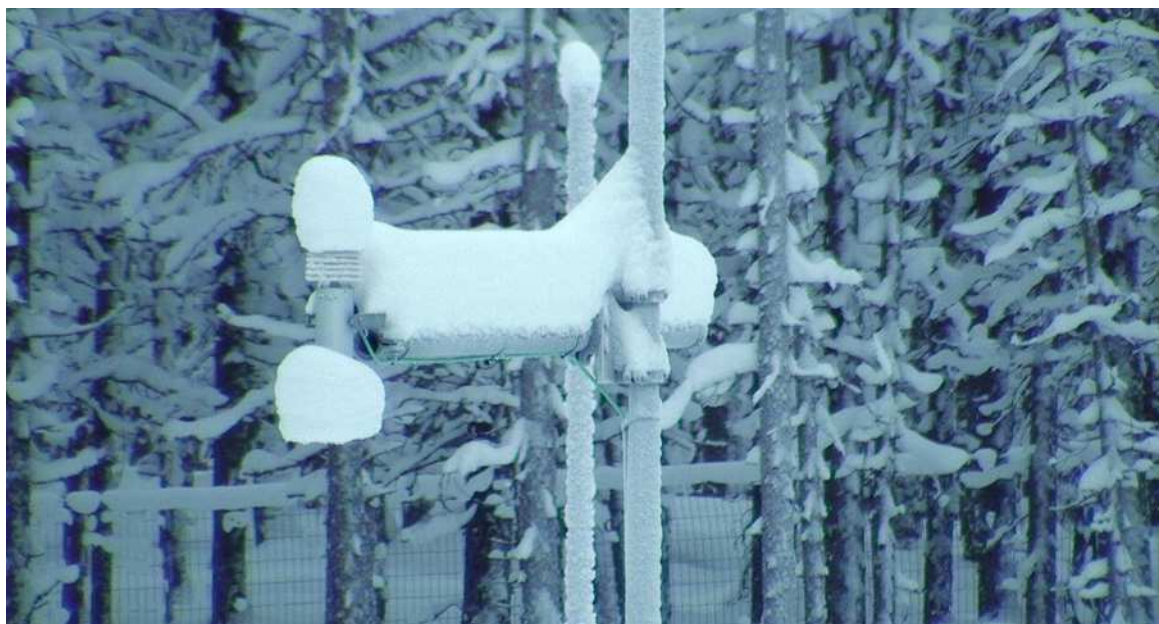


Рисунок 2.11. Снегомерный прибор без функции обогрева и монтажная конструкция, на которой скапливается снег в условиях слабого ветра (фото предоставлено Финским метеорологическим институтом)

2.4 ВОДНЫЙ ЭКВИВАЛЕНТ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

2.4.1 Ручные измерения водного эквивалента снежного покрова

2.4.1.1 Методы проведения измерений

Существует много различных методов ручного измерения ВЭС. Методы измерения будут различаться в зависимости от высоты снеговзапаса и условий. В следующих разделах предпринята попытка кратко описать эти методы и ряд факторов, определяющих их выбор. Здесь рассматриваются только методы прямого измерения (то есть, за исключением методов активного или пассивного радиационного поглощения), так как многие из этих методов либо более не используются, либо были автоматизированы и рассматриваются в последующих разделах. Как правило, для всех методов прямого измерения применяется гравиметрический снегомер, в который собирается снег известного (или вычисляемого) объема, что позволяет рассчитать плотность снега. Методы варьируются от использования небольшого объемного снегомера (например, объемом 1000 см³) в снежном шурфе (см. рис. 2.12, слева) до 10-точечного снегомерного маршрута с использованием снегоотборника (см. рис. 2.12, справа). Сейчас используется множество различных объемных снегомеров и снегоотборников, и их выбор во многом зависит от типа отбираемого снеговзапаса. Многие из этих снегомеров перечислены и рассмотрены в работах Farnes et al. (1983) и Haberkorn (2019), и лишь некоторые из них рассматриваются в этой главе в контексте измерения снеговзапаса при различных состояниях.

Для проведения измерений ВЭС не существует стандартного объемного снегомера; и одни снегомеры лучше подходят для определенных снежных условий, чем другие. Они описываются далее в разделе 2.4.1.2. Здесь обсуждение сосредоточено на двух общих методах измерения ВЭС: снежные шурфы и снегомерные маршруты, включая их соответствующие преимущества и недостатки.



Рисунок 2.12. Объемный снегомер высотой 55 см во время взвешивания на пружинных весах (слева, фото предоставлено Швейцарским институтом исследования снега и лавин, ВСЛ, Давос, Швейцария) и цилиндрический снегоотборник (справа, фото предоставлено Министерством охраны окружающей среды Канады).

Измерения ВЭС в снежных шурфах

Для снежного шурфа (см. рис. 2.13) необходимо вручную выкопать в снежном покрове яму до поверхности отсчета таким образом, чтобы обнажить нетронутую поверхность снеготалопа. Метод использования снежных шурфов удобен для наблюдения за стратиграфией снежного покрова, особенно в более глубоком снеготалопа. Такие гравиметрические наблюдения ВЭС обычно проводятся еженедельно, раз в две недели или сезонно, в зависимости от их задачи. Метод измерения является относительно разрушительным, так как обычно требуется выкопать большой шурф, поэтому каждый раз его нужно делать в новом месте. В снег вставляется снегомер известного объема (обычно от 10^{-4} до $\sim 4 \cdot 10^{-3}$ м³), и из него извлекается и взвешивается проба известной толщины L (м) (см. рис. 2.12, слева). Затем плотность снега ρ_s в пробе (кг на м³) определяется следующим образом:

$$\rho_s = \frac{m_{sample}}{V_{sample}} \quad (2.5)$$

Где m_{sample} – масса пробы (кг), а V_{sample} – объем пробы (м³), который обычно соответствует объему снегомера. Затем определяется водный эквивалент WE пробы:

$$WE = L \cdot \rho_s \quad (2.6)$$

Если аккуратно взять несколько проб от поверхности снега до поверхности отсчета без смещений, то ВЭС будет представлять собой сумму водных эквивалентов каждой из проб.

Измерения ВЭС на снегомерных маршрутах

Наблюдения ВЭС на снегомерном маршруте обычно проводятся с помощью цилиндрического снегомера (см. рис. 2.12, справа) в многоточечном разрезе, обычно включающем 5-10 точек измерения, расположенных на расстоянии 30 м друг от друга.



Рисунок 2.13. Отбор проб из верхнего слоя в снежном шурфе с помощью цилиндрического снегомера ЕТН (фото предоставлено Швейцарским институтом исследования снега и лавин, ВСЛ, Давос, Швейцария)

Существуют различные виды снегомеров, но принципы отбора проб во многом схожи. Снегомер вводится в снежный покров (см. рис. 2.14) до поверхности земли, при необходимости с использованием удлинителей, и извлекается снежный керн. Объем этого керна рассчитывается по высоте керна в цилиндре с известным радиусом. Затем проба либо взвешивается с помощью держателя для снегоотборника и пружинного безмена, либо упаковывается в пакет и взвешивается на весах. Некоторые пружинные безмены калибруются для прямого измерения ВЭС в мм вод. экв. или кг на м² (после вычитания веса снегоотборника) либо плотность может быть рассчитана вручную следующим образом:

$$\rho_s = \frac{m_{sample}}{(\pi R^2 \cdot L)} \quad (2.7)$$

где R — радиус режущей кромки снегоотборника (м), L — высота пробы снега, измеренная с помощью снегоотборника (м), а m_{sample} — масса пробы (кг) за вычетом веса снегоотборника или пакета для пробы (если проба собирается в пакет, а не взвешивается в снегоотборнике).

Затем ВЭС рассчитывается по следующей формуле:

$$SWE = L \cdot \rho_s \quad (2.8)$$

Преимущество отбора проб с помощью снегоотборников, а не снежных шурфов заключается в относительной скорости метода отбора проб и минимальном нарушении снежного покрова, что позволяет проводить повторные измерения очень близко друг к другу в течение зимнего сезона. Недостатком по сравнению со снежными шурфами является неспособность наблюдателя определить, собирается ли нетронутая проба снега, особенно в сложных снежных покровах с несвязными слоями или ледяными линзами. Некоторые из этих трудностей рассматриваются в разделе 2.4.1.2.



Рисунок 2.14. Отбор проб с помощью снегоотборника (фото предоставлено Министерством охраны окружающей среды Канады)

На снегомерном маршруте обычно применяется метод двойного отбора проб, когда получают несколько проб снежного покрова разной высоты (обычно от 10 до 15, в зависимости от изменчивости снежного покрова) с помощью линейки или штанги между пробами ВЭС (см. 2.3). Локальный ВЭС затем рассчитывается по формуле 2.8 с использованием средней плотности, полученной из 5 или 15 проб из снегоотборников и среднего значения ВС, измеренного с помощью линейки или штанги. Было доказано, что этот метод улучшает оценку местного значения ВЭС и уменьшает дисперсию измерений по сравнению с отбором проб ВЭС на снегомерном маршруте без многократных измерений ВС (Rovanssek et al., 1993), при условии, что высота снега рассчитана с минимальной погрешностью.

2.4.1.2 **Процедуры измерения и передовая практика**

Методы и устройства проведения измерений

Двумя вариантами ручного отбора проб для определения ВЭС являются снегомерный маршрут с использованием снегомера и снежный шурф с небольшими объемными пробами. Снегомерный маршрут и снегомер следует использовать там, где ВЭС имеет более низкую пространственную однородность и, следовательно, необходимо увеличить пространственную выборку. Таким образом, снегомерный маршрут и снегомер будут меньше нарушать снежный покров и позволят быстрее отбирать пробы из нескольких точек. Изменчивость участка можно оценить с помощью снегомерного разреза, как это показано в разделе 2.3.1.2; КВ более 10 % указывает на то, что необходимо брать множественные точечные пробы на снегомерном маршруте, а не использовать снежный шурф. Недостатком снегомерного маршрута со снегомером является повышенная погрешность измерений. Там, где снежный покров более однороден, для оценки ВЭС можно использовать один снежный шурф, суммируя данные от нескольких небольших объемных проб, полученных от поверхности снега до поверхности земли. Этот метод более трудоемок, требует больше времени и сильнее нарушает снежный покров, но как правило является более точным. Протоколы измерений подробно описаны ниже.

Протоколы измерений для снежных шурфов

Ручные измерения ВЭС часто проводятся путем пошагового измерения плотности снегозапаса, начиная с поверхности снега в снежном шурфе и до достижения опорной поверхности. Для проведения этой процедуры необходимо использовать градуированный цилиндр, пружинные весы, заостренную тонкую металлическую пластину (размером приблизительно 20 см x 20 см) и инструмент, такой как карточка, скребок или шпатель для кристаллов, чтобы вырезать пробы из окружающего снега. Максимальная высота слоя определяется длиной цилиндра. Концептуальная схема этой процедуры показана на рисунке 2.15.

Выбор места для снежного шурфа:

- a) снежный шурф должен располагаться на ровной поверхности, где можно выкопать яму, не мешая проведению других измерений на участке;
- b) в зависимости от частоты измерений в шурфе может потребоваться больше места для дальнейшей выработки шурфа, и об этом следует помнить при выборе места для первого и последующих шурфов;
- c) место для снежных шурфов следует выбрать до начала накопления снега, чтобы опорная поверхность была очищена от камней и других посторонних предметов.

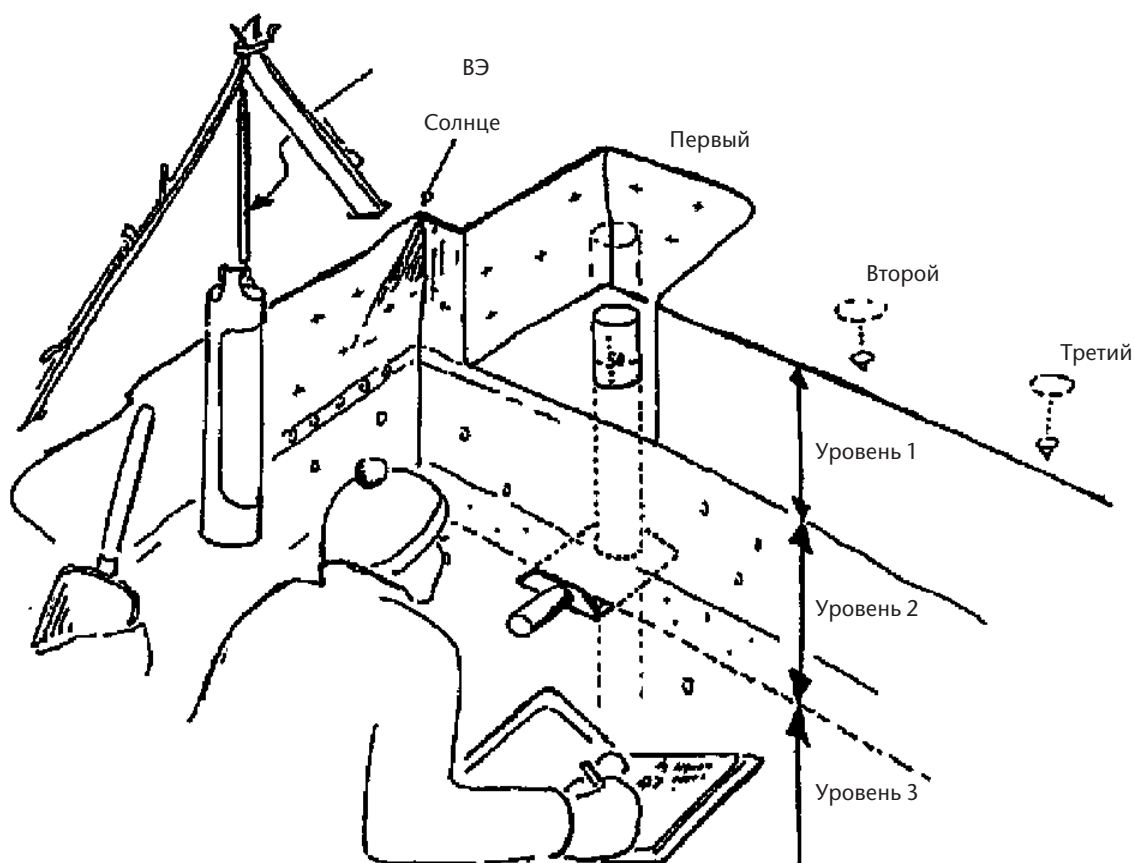


Рисунок 2.15. Концептуальная схема наблюдения ВЭС с использованием снежного шурфа (фото предоставлено Г. Каппенбергером, Швейцарский институт исследования снега и лавин, ВСЛ, Давос, Швейцария)

Проведение измерений:

- a) в месте, выбранном для проведения измерений в снежном шурфе, выкопайте яму, чтобы обнажить срез снеготалопа, на который не будет попадать прямой солнечный свет. Это поможет предотвратить нагревание среза на солнце и налипание снега на пробоотборник;
- b) пробы для измерения ВЭС отбираются вертикально и непрерывно, начиная с поверхности снежного покрова. Вставьте металлическую пластину горизонтально в открытый срез на глубине чуть меньше длины цилиндра;
- c) вставьте цилиндр, который должен быть заострен с одной стороны, вертикально вниз до пластины и запишите соответствующую высоту пробы в соответствии с градуировкой на цилиндре;
- d) вырежьте пробу из среза с помощью карточки, скребка или шпателя для кристаллов, не допуская выпадения рыхлого снега из пробоотборника до его взвешивания;
- e) проба либо взвешивается на пружинных весах, подвешенных в удобном месте, как показано на рис. 2.13 (слева), либо упаковывается в пакет, маркируется и взвешивается позднее на настольных весах;
- f) рекомендуется взять повторную пробу каждого уровня на небольшом расстоянии от первой пробы (см. рис. 2.15). Важно, чтобы это расстояние не было слишком большим, иначе оно не будет уменьшать неопределенность, связанную с пространственной изменчивостью. На основе средних значений высоты и веса по

результатам повторных измерений определяется объем и масса пробы, которые затем используются для расчета плотности и, наконец, ВЭС для каждого слоя. Если высота или вес при повторных измерениях отличаются более чем на 5 %, измерение следует провести в третий раз;

- g) для взятия пробы следующего уровня очистите металлическую пластину от оставшегося снега и снова вставьте ее на нижней части следующего уровня. Повторяйте процедуру отбора проб до тех пор, пока не дойдете до опорной поверхности;
- h) наконец, ВЭС всего снегозапаса рассчитывается путем сложения водных эквивалентов каждого отобранного слоя. Помните, что сумма толщин слоев часто оказывается меньше измеренной ВС из-за неровностей грунта и толщины металлической пластины.

Протоколы измерений при снегомерной съемке

Для измерения ВЭС на снегомерном маршруте с помощью снегомера следует использовать следующую общую процедуру. Здесь описывается метод двойного отбора проб.

Снегомерный маршрут должен быть определен до начала сезона накопления снега, хотя будет полезно иметь предварительное представление о местной изменчивости снежного покрова (см. 2.2). Следует избегать таких мест отбора проб, где крупные камни, бревна, мелкий кустарник или дренажные каналы могут помешать измерениям.

Для установки снегомерного маршрута:

- a) выберите участок и определите длину маршрута и количество проб, необходимых для отражения пространственной изменчивости на участке. Базовая линия маршрута из 10 точек измерения, расположенных на расстоянии 30 м друг от друга, составит 270 м. Базовая линия маршрута из 5 точек составит 120 м, но ее следует удлинить, если на участке наблюдается высокая пространственная изменчивость;
- b) задайте начальную точку маршрута с помощью маркера (рейки или столба), который будет хорошо виден значительно выше максимальной ВС. Рекомендуется покрасить рейку или столб в хорошо заметный цвет и нанести на него четкую маркировку с номером;
- c) с помощью рулетки отмерьте расстояние 30 м до следующей точки съемки и установите следующую маркированную рейку или столб. Продолжайте до конца снегомерного маршрута, последовательно нумеруя рейки. Следует избегать препятствий, таких как пни или каналы, которые могут оказать влияние на снежный покров;
- d) для целей метаданных нарисуйте схему снегомерного маршрута, включая его направление, расстояние между маркерными рейками, уклон, растительный покров и препятствия.

Проведение измерений:

- a) измерения на первом снегомерном маршруте следует начинать в первый день снегомерной съемки, когда высота снежного покрова на участке превысит 5 см, и продолжать в соответствии с графиком до тех пор, пока две или более точек пятиточечного маршрута или четыре или более точек десятиточечного маршрута не будут свободны от снега. Как правило, измерения проводятся раз в неделю или раз в две недели;

- b) отбор проб на снегомерном маршруте следует проводить в начале дня, когда температура воздуха ниже, а снегозапас сухой. Следует использовать холодный снегоотборник, чтобы не допускать налипания снега на его внутреннюю поверхность. Если снегоотборник хранился в теплом месте, положите его на снег, чтобы он остыл перед началом съемки. Надевайте перчатки, чтобы не передавать тепло на снегоотборник во время съемки. Отметьте время начала отбора проб на снегомерной трассе;
- c) начиная с первой маркированной рейки на маршруте и далее последовательно до последней маркированной рейки, возьмите с помощью снегоотборника пробу насыпной плотности в нетронутым месте на расстоянии не более 1,5 м от рейки, избегая тех мест, где пробы уже отбирались ранее, и стараясь оказывать как можно меньшее воздействие на участок, что может повлиять на последующие измерения. Последовательные пробы могут отбираться на заранее заданном постепенно увеличивающемся расстоянии от маркированной рейки, чтобы не допускать отбора проб в ранее нарушенном снежном покрове. Рекомендуется составить полевую схему мест отбора проб, особенно если на участке работает несколько наблюдателей;
- d) перед забором каждой пробы осмотрите снегоотборник, чтобы убедиться, что в нем нет снега и почвы, и будьте осторожны с острыми зубцами на режущей части;
- e) вставьте снегоотборник вертикально в поверхность снега, режущей кромкой вниз. Плавно вращайте снегоотборник так, чтобы режущий край входил в снег до тех пор, пока он не достигнет опорной поверхности (предварительное знание ВС может помочь оценить это). При применении избыточного давления снегоотборник будет рыхлить снег и отталкивать материал от снегоотборника вместо того, чтобы собирать его. При возникновении сопротивления из-за слоев льда вращайте снегоотборник более интенсивно по часовой стрелке с помощью рукояток и оказывайте постепенно возрастающее вертикальное давление на снегоотборник, чтобы режущая кромка прошла через слой льда и двигалась дальше в оставшемся снежном покрове. По возможности следует избегать заминок во время отбора проб. Эффективность отбора и качество пробы возрастут, если зубцы режущей кромки будут как можно более острыми, а после контакта с камнями или твердыми поверхностями зубцы будут затачиваться напильником или точильным камнем;
- f) когда вы убедитесь, что режущая кромка достигла опорной поверхности, запишите в бланк данных высоту снежного покрова, наблюдаемую на мерных делениях снегоотборника. При отборе проб в глубоком снегозапасе (высота которого превышает длину снегоотборника), добавьте сегменты на снегоотборник, чтобы достичь необходимой глубины. Отметьте высоту пробы керна в снегоотборнике и занесите эту информацию в бланк данных. Если высота керна в снегоотборнике составляет менее 80 % высоты нетронутого снега, керн, скорее всего, разрушился под воздействием режущей кромки и высыпался из снегоотборника или не попал в снегоотборник. В этом случае вам понадобится отобрать еще одну пробу;
- g) прилагая все большее давление, поверните снегоотборник не менее двух раз по часовой стрелке так, чтобы режущая кромка вошла в поверхность под снегозапасом. В идеале режущая кромка должна войти в поверхность примерно на 2 см, чтобы проба снега в снегоотборнике удерживалась пробкой из почвы достаточной толщины во время извлечения из снегозапаса. Если поверхность слишком твердая для того, чтобы извлечь пробку с помощью режущей кромки, вам потребуется раскопать снег вдоль снегоотборника до поверхности, чтобы под него можно было осторожно вставить совок или пластину для удержания пробы во время извлечения (как правило, это можно сделать только в неглубоком снежном покрове);
- h) при наличии почвенной пробки в режущей части снегоотборник можно аккуратно извлечь из снежного покрова с неповрежденной пробой;
- i) с помощью небольшого инструмента, например, плоской отвертки или маленького ножа, извлеките пробку из режущей части, осторожно работая вокруг острых зубцов.

Если на пробку налип лед или крупные кристаллы, осторожно соскребите или удалите их, возвращая как можно больше льда или снега обратно в снегоотборник (или в пакет для сбора проб);

- ж) если пробу необходимо взвесить с помощью пружинных весов и держателя, поверните снегоотборник так, чтобы он находился поперек ветра (или найдите защищенное место), поместите снегоотборник в держатель и закрепите его на пружинных весах. Весы можно подвесить на какой-либо конструкции, например, на прочной ветке дерева, чтобы повысить устойчивость и снизить погрешность измерения веса. Слегка нажмите на весы, чтобы убедиться, что их не заклинило, измерьте на весах вес (вместе со снегоотборником) и запишите его в бланк данных. Сбросьте пробу со стороны рукояток снегоотборника и убедитесь, что он пустой и очищен от снега и посторонних предметов. Затем снова взвесьте пустой снегоотборник с помощью держателя и пружинных весов, чтобы записать вес тары, который отмечается в бланке данных и вычитается из общего веса, чтобы получить вес пробы снега;
- к) если пробу необходимо упаковать и взвесить позднее с помощью настольных весов, переложите содержимое снегоотборника в водонепроницаемый герметичный пакет со стороны рукояток снегоотборника. На пакет следует нанести место измерения. Для определения массы тары перед взвешиванием пробы на весах можно использовать пустой пакет. Весы должны быть откалиброваны (например, $\pm 1\%$) и иметь точность, соответствующую весу пробы. Калибровку весов следует подтверждать раз в сезон с помощью калибровочного груза. Как правило, почтовые или пищевые весы среднего качества имеют достаточную точность и их вполне удобно переносить для этой цели;
- л) в промежутках между маркерами проб насыпной плотности воспользуйтесь снегомерной линейкой, чтобы получить не менее десяти равномерно удаленных друг от друга измерений высоты снежного покрова и запишите их в форму данных.

Следует признать, что процедура отбора проб и выбор снегоотборника будут зависеть от условий снежного покрова. Наблюдатели могут решить использовать то оборудование для отбора проб, которое традиционно применяется в их национальных программах наблюдений и может быть приспособлено к снежным условиям, в которых отбираются пробы. Это допустимо, хотя предпочтительнее, чтобы наблюдатели использовали то оборудование, которое было охарактеризовано в ходе предыдущих взаимных сравнений (например, Farnes et al., 1983).

В неглубоком снеготазе (≤ 50 см) и снеготазе со слоями льда или глубинного инея рекомендуется использовать снегоотборник с большей (> 20 см²) площадью реза, которая, вместе с этим, будет достаточно мала, чтобы можно было извлечь почвенную пробку с поверхности. Срез большей площади будет меньше забиваться льдом или плотным снегом и с меньшей вероятностью приведет к разрушению несвязных слоев под срезом. Вместе с тем, наблюдатель должен обращать особое внимание на длину извлекаемого керна, чтобы убедиться в том, что вся проба была извлечена. Для уплотненных снеготазов или снеготазов с ледяными линзами нужно использовать режущие кромки с острыми зубцами, чтобы уменьшить погрешность при отборе проб. В более глубоком снеготазе можно использовать снегоотборник с режущей кромкой меньшего диаметра (например, швейцарский снегоотборник с режущим краем площадью 11,2 см², рис. 2.16), так как его будет легче вставлять в более глубокий снег. Однако следует помнить, что при использовании режущей кромки меньшего диаметра появляется тенденция к завышению значений ВЭС, в связи с чем необходимо делать поправку (см. Farnes et al., 1983).

В глубоких высокогорных снеготазовых, где может потребоваться один или несколько удлинителей снегоотборника, наблюдателю может быть сложнее определить, соприкоснулась ли режущая кромка снегоотборника с поверхностью. Предварительная информация об общей ВС на промаркированной снегомерной рейке (например, с помощью снегомерной штанги или лавинного зонда) будет полезна в качестве справочной

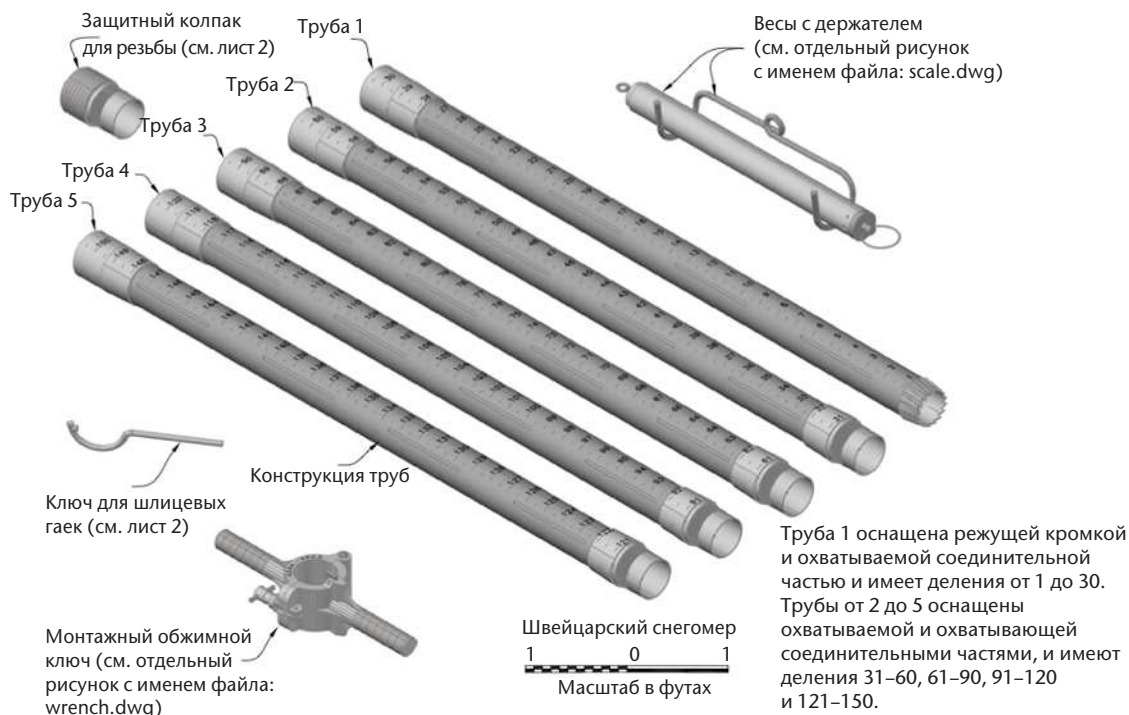


Рисунок 2.16. Швейцарский снегомер (рисунок Кристи Ясумиши, Служба охраны национальная ресурсов, Министерство сельского хозяйства США)

информации для измерения высоты с помощью градуировки на снегоотборнике. В таких условиях, а также когда характеристики снежного покрова относительно однородны, предпочтительным методом может быть измерение ВЭС в одном снежном шурфе.

2.4.1.3 **Источники ошибки**

Снежные шурфы (ВЭС интегрируется из объемных проб)

Поскольку отбор проб с помощью цилиндрических снегоотборников подразумевает многократные измерения по всему снежному покрову, вероятность ошибки при считывании показаний или неправильной расшифровки показания выше, чем при одном измерении с помощью снегоотборника. Пластина, применяемая для разделения различных уровней измерения, должна быть тонкой и острой, чтобы минимизировать воздействие на измеряемый слой снега. Если над рыхлым слоем снега находится толстый слой льда, измерение не следует проводить слишком близко к стенке шурфа. Кроме того, цилиндр следует вкручивать, а не вдавливать в снег, чтобы минимизировать вероятность того, что рыхлый снег упадет со стенки ямы, а не попадет в цилиндр, что приведет к заниженной оценке пробы. Также важно правильно опорожнять и очищать цилиндр после каждого измерения, чтобы избежать смещения результатов измерения следующей пробы. Этого легче добиться при использовании цилиндров большего диаметра.

Снегомерный маршрут (со снегоотборниками)

При отборе проб с помощью снегоотборника снег в основном остается нетронутым, за исключением небольшой области вокруг пробы. Однако этот метод не позволяет наблюдателю проверить, как снегоотборник проходит сквозь снег, или определить, коснулась ли режущая кромка поверхности. Наблюдатель не способен определить, не забивается ли режущая часть плотным снегом или льдом, или не обрушивает ли режущий край рыхлые слои кристаллов, что смещает результаты пробы плотности. Наблюдатель также не может визуальным образом определить, входит ли режущая кромка в поверхность земли,

чтобы получить почвенную пробку достаточного объема и не допустить рассыпания из снегоотборника при извлечении керна из снегозапаса. Эти ошибки усугубляются, если в снегозапасе присутствуют слои льда, донный лед и слои глубинного инея и несвязных кристаллов. Опыт наблюдателя также играет важную роль в уменьшении возможных ошибок.

Конструкция и технические характеристики снегоотборника и режущей кромки также влияют на погрешность и смещение результатов пробоотбора. В работах Farnes et al. (1983) и Haberkorn (2019) проводится сравнение многих широко используемых снегоотборников и режущих кромок с эталоном. Если подвести итог, то авторы показали, что при сравнении с интегрированной пробой из снежного шурфа, взятой с помощью пробоотборника «Glacier» (81,9 см²), погрешность в целом была выше при использовании снегоотборников меньшего диаметра по сравнению с большим. Например, было показано, что стандартный швейцарский пробоотборник (режущий край площадью 11,2 см², рис. 2.16) завышает ВЭС на 12 % из-за конструкции зубцов режущей кромки, которые при введении снегоотборника в снежный покров вдавливают в него лишний снег. Кроме того, режущие края меньшего диаметра (до 20 см²) больше забиваются при попадании на ледяные линзы и с большей вероятностью приводят к обрушению несвязных слоев под режущим краем, в результате чего общий ВЭС занижается. Компромисс с точки зрения размера заключается в том, чтобы с помощью режущего края большего диаметра можно было вырезать достаточную почвенную пробку для удержания пробы в снегоотборнике во время извлечения и не использовать совок или пластину для удержания пробоотборника, что привело бы к большему нарушению снежного покрова. Режущий край с заточенными зубцами будет способствовать уменьшению этих ошибок. Farnes et al. (1983) показали, что идеальная площадь режущей кромки составляет около 30 см², о чем свидетельствует низкий процент ошибок пробоотборника ESC30, который варьировался от завышенной на 5 % и до заниженной на 2 % оценки.

Свежевыпавший снег или мокрый снег также могут увеличить погрешность при взятии проб, особенно если наблюдатель отбирает пробы керна для последующего взвешивания, а не использует пружинные весы и держатель для пробоотборника. В зависимости от температуры, новый и мокрый снег будут скорее налипать в пробоотборнике, что приведет к занижению оценки ВЭС более чем на 10 %.

Материал пробоотборника также может способствовать уменьшению погрешности. Высоту пробы легче определять с помощью прозрачных пластиковых пробоотборников, чем при использовании алюминиевых пробоотборников с прорезями, что снижает вероятность ошибок при представлении данных. Кроме того, гораздо легче определить, разрушился ли снежный керн, если его можно наблюдать через прозрачную трубку. Хотя пробоотборники из прозрачного пластика проще использовать и легче переносить, они не так долговечны, как алюминиевые, особенно на морозе.

2.4.2 Автоматические измерения водного эквивалента снежного покрова

2.4.2.1 Методы проведения измерений

Существует несколько методов автоматического измерения ВЭС. Наиболее распространенными являются устройства для взвешивания (снеговые подушки и снегомерные весы) и пассивные радиационные (гамма) приборы. Также имеются и другие устройства, такие как GCOM (Jacobson, 2010; Koch et al., 2014) и приборы для измерения космических лучей (Sigouin and Si, 2016; Gottardi et al., 2012), и читателю предлагается обратиться к современной литературе для получения дополнительной информации.

Снеговые подушки

Это, вероятно, наиболее распространенный метод автоматического измерения ВЭС. Снеговые подушки используются с 1960-х годов (Beaumont, 1965) и состоят из наполненного незамерзающей жидкостью пузыря из синтетического каучука или

нержавеющей стали диаметром около 3 м. Незамерзающая жидкость обычно состоит из смеси метилового спирта и воды или раствора метанол-гликоля в воде; поскольку метанол является токсичным веществом, с ним следует обращаться осторожно (см. том I, 6.3.2, настоящего Руководства). Подушка устанавливается вровень с поверхностью земли, чтобы не оказывать влияние на накопление снега на поверхности (см. рис. 2.17, слева). Гидростатическое давление внутри пузыря возрастает с ростом веса вышележащего снеговозапаса и измеряется либо с помощью поплавкового устройства, которое выталкивается вверх по вертикальной трубе, либо датчика давления. Затем калиброванные показания любого из приборов переводятся в мм вод. экв. Как правило, измерения проводятся один раз в час с разрешением до 1 мм вод. экв. (Beaumont, 1965) и ожидаемой неопределенностью 6 %-12 % (Palmer, 1986). В целях предотвращения повреждений прибора и для сохранения снежного покрова в первоначальном состоянии рекомендуется применять ограждения и защищать заполненный жидкостью пузырь от повреждения животными. В нормальных условиях снеговые подушки могут служить десять лет и более, однако из-за токсичности содержимого пузыря возникают опасения относительно состояния окружающей среды.

Снеговые весы

Снеговые весы (см. рис. 2.17, справа) все чаще используются вместо снеговых подушек. Их принцип измерения схож в том смысле, что прибор измеряет вес лежащего на нем снежного покрова, переводя значения веса в оценку ВЭС. Однако вес измеряется с помощью электронного тензодатчика, что устраняет необходимость в использовании пузыря, заполненного жидкостью. Как правило, площадь измерения снеговых весов составляет от 6 м² до 10 м², и хотя обычно измерения производятся один раз в час, приборы дают возможность проводить измерения чаще. Разрешающая способность измерительного прибора обычно не превышает 1 мм вод. экв., но ожидаемая погрешность составляет 10 %.

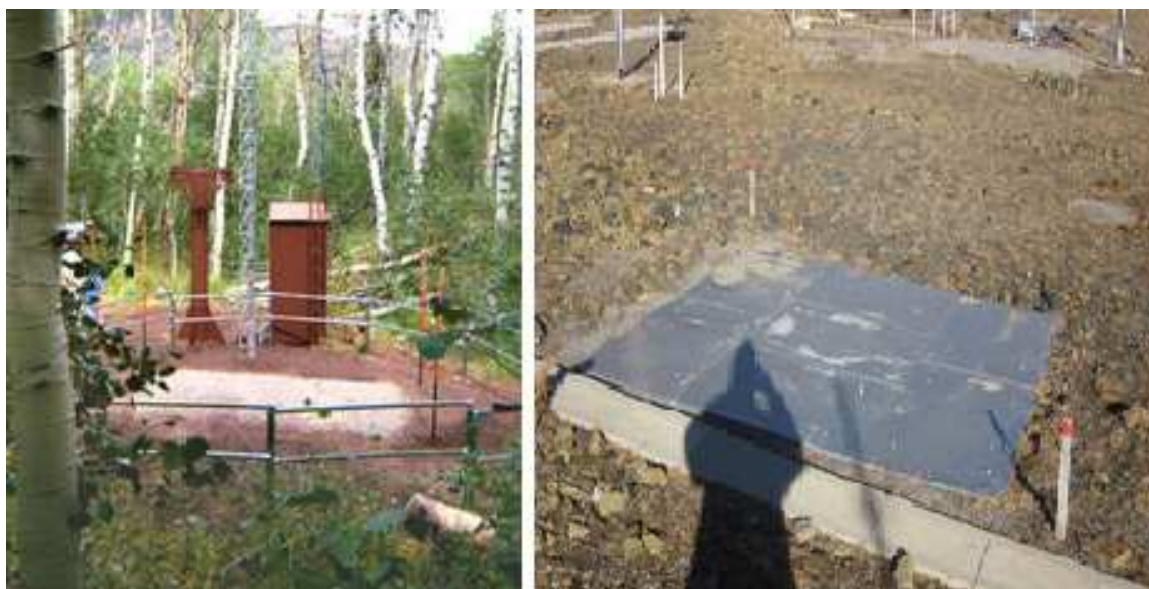


Рисунок 2.17. Рабочая площадка со снеговой подушкой (слева, фото предоставлено Министерством сельского хозяйства США) и снеговые весы (справа), где центральная панель является чувствительным элементом (фото предоставлено Швейцарским институтом исследования снега и лавин, ВСЛ, Давос, Швейцария)

Приборы на основе пассивного гамма-излучения

Работа приборов на основе пассивного гамма-излучения (см. рис. 2.18) основывается на том принципе, что естественный распад калия или таллия в почве создает фоновый уровень гамма-излучения, который ослабляется водой, присутствующей в снежном покрове. Прибор, установленный над поверхностью земли, сравнивает измерения гамма-излучения снега на земле с измерениями, полученными над голой почвой, и рассчитывает ослабление, вызванное наличием снега. Затем ослабление переводится в значения ВЭС. Как правило, прибор сообщает значение ВЭС каждые 6 часов с разрешающей способностью 1 мм вод. экв. и ожидаемой погрешностью от 5 % до 30 % (Smith et al., 2017). Зона действия прибора зависит от высоты его установки (~40 м² на высоте 2 м над поверхностью снега). Перед началом накопления снега приборы необходимо откалибровать по влажности почвы, чтобы ослабление, связанное с влажностью почвы, можно было учитывать при расчете ВЭС.

2.4.2.2 *Процедуры измерения и передовая практика*

Выбор автоматических приборов

Выбор автоматических приборов должен определяться условиями на участке, требуемым временным разрешением измерений, соображениями в плане установки и экологическими аспектами. Приборы на основе пассивного гамма-излучения следует использовать, если прибор необходимо установить над поверхностью, не нарушая субстрат, или для измерения существующего снежного покрова. Вместе с тем, для этих приборов требуется длительное (более 6 часов) время интеграции, что ограничивает их временную разрешающую способность и увеличивает погрешность измерений. Приборы



Рисунок 2.18. Прибор для измерения ВЭС на основе пассивного гамма-излучения (фото предоставлено Финским метеорологическим институтом)

на основе пассивного гамма-излучения также имеют максимальную измерительную способность высоты ВЭС, что следует учитывать, если измерения нужно проводить в глубоких высокогорных снегозапасах (более ~600 мм вод. экв.). Пользователи также должны понимать, что приборы на основе пассивного гамма-излучения могут принимать приповерхностную почвенную влагу за ВЭС, тем самым завышая общую оценку ВЭС в снегозапасе (Smith et al., 2017). Снеговые весы являются предпочтительным вариантом для измерения ВЭС при временном разрешении 6 часов или менее, но перед их установкой необходимо более тщательно подготовить поверхность. Пользователи также должны учитывать то, что при определенных условиях снежного покрова (снег с циклами замерзания и оттаивания, районы, где снег сдувает ветром и т.д.) в системе могут образовываться «своды». Хотя возможности снеговых подушек аналогичны возможностям снеговых весов, следует избегать их использования ввиду более сложного технического обслуживания и потенциальной опасности для окружающей среды при повреждении животными и утечки незамерзающей жидкости из резинового пузыря. Желаемая погрешность при автоматических измерениях ВЭС должна составлять ± 5 мм вод. экв. с учетом того, что даже в идеальных условиях погрешность гамма-приборов будет зависеть от используемых методов взвешивания.

Высота установки

Снеговые весы (и подушки) должны устанавливаться на одном уровне с поверхностью, чтобы предотвратить неблагоприятные краевые эффекты. Приборы на основе пассивного гамма-излучения необходимо устанавливать на высоте, рекомендованной производителем, но обычно на 2 м выше максимального уровня ВС, учитывая, что высота над снегом влияет на радиус зоны действия прибора.

Монтажная конструкция

На приборах на основе гамма-излучения обычно не сказываются нарушения в монтажной конструкции, которая, тем не менее, должна быть спроектирована и установлена так, чтобы минимизировать преимущественное накопление снега в зоне действия прибора. Это также относится к снеговым весам и подушкам, даже если они устанавливаются не над поверхностью. Монтажная конструкция должна быть как можно более простой, но при этом достаточно прочной, чтобы надежно удерживать прибор.

Контроль качества данных

Как и в случае с ВС, первым уровнем контроля качества данных должна быть проверка на разумные (в зависимости от участка) значения в диапазоне от нуля (или близко к нулю, чтобы учесть небольшой дрейф прибора) и до максимально возможного ВЭС для данного участка. Для проверки необоснованных изменений в почасовых (или суточных) значениях ВЭС следует также применять фильтр скачков, принимая во внимание максимальные скорости аккумуляции и абляции и перераспределение ветра. Как отмечалось выше, изменения ВЭС могут быть связаны с изменениями ВС при использовании инструмента, расположенного рядом. Прибор для измерения высоты снежного покрова поможет определить бесснежный период (то есть период, когда показания прибора, измеряющего ВЭС, также должны быть равны нулю) и случаи сводообразования на приборах для взвешивания (то есть длительные периоды увеличения ВС без соответствующего увеличения ВЭС).

2.4.2.3 Источники ошибки

Ошибки при автоматических измерениях могут возникать из-за проблем, не связанных с окружающей средой, таких как неисправность прибора и неправильная калибровка прибора (или дрейф калибровки). Ошибки также могут возникать в результате обстоятельств, связанных с условиями измерения, такими как сводообразование при

проведении измерений, основанных на весе, или изменения уровня влажности почвы под прибором на основе гамма-излучения в середине сезона. Ошибки, не связанные с окружающей средой, легче поддаются выявлению с помощью процедур контроля качества (то есть фильтрации по принципу «минимум/максимум»), по сравнению с ошибками, относящимися к окружающей среде, которые, как правило, менее явные и их не так легко обнаружить без ручного отбора проб.

Сводообразование представляет собой распространенную проблему при измерении ВЭС на основе веса. Обычно это явление возникает в результате циклов замораживания-оттаивания и оседания снежного покрова, что в конечном итоге приводит к нарушению связи между механизмом взвешивания и вышележащим снежным покровом, а ошибка теоретически может достигать 100 %. Сводообразование легче всего выявить с помощью периодических ручных измерений ВЭС вблизи прибора, но часто это не представляется возможным. Другим признаком сводообразования является увеличение ВС (в течение нескольких дней или недель) без соответствующего увеличения ВЭС, измеряемого прибором. Это легче всего обнаружить при совместном размещении автоматического прибора измерения ВС с прибором измерения ВЭС. Методика обнаружения и исправления ошибок, связанных с использованием инструментов измерения ВЭС на основе веса, описана в работе Johnson and Marks (2004).

Ошибки в автоматических измерениях ВЭС на основе веса, особенно при использовании снеговых весов, могут быть вызваны тем, что прибор либо оседает в субстрате (например, в песке), в котором он установлен, либо всплывает из земли из-за замерзания и оттаивания субстрата (например, в почвах с высоким содержанием глины и воды). Оседание уменьшает давление на тензодатчик и приводит к заниженной оценке ВЭС, в то время как всплытие увеличивает давление на тензодатчик, что приводит к завышенной оценке ВЭС. Оба этих обстоятельства трудно оценить в период накопления, но их можно определить, отметив изменение высоты прибора относительно поверхности (которое в идеале должно быть равно нулю), как только прибор будет свободен от снега. Величину этих ошибок трудно предсказать, но, скорее всего, они будут небольшими по сравнению с ошибками при сводообразовании, о которых говорилось выше.

На приборы на основе гамма-излучения влияет количество влаги в почве, присутствующей при замерзании почвы, и они чувствительны к изменениям влажности почвы в течение сезона. Как правило, приборы следует калибровать ежегодно с гравиметрическим измерением влажности почвы непосредственно перед замерзанием почвы. Однако обычно это не представляется возможным, так как нередко первое сезонное накопление снега происходит на незамерзшей почве. По оценкам, ошибки ВЭС составляют приблизительно 10 мм вод. экв. на каждые 0,10 изменения гравиметрического содержания влаги (Smith et al., 2017). Мониторинг изменения влажности почвы до замерзания грунта может способствовать выявлению этих ошибок, которые потенциально могут сохраняться в течение всего периода накопления.

2.5 СВОЙСТВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Для наблюдений за снегозапасом требуется достаточно большой снежный шурф, чтобы можно было проводить многочисленные наблюдения в дополнение к измерениям ВЭС (см. 2.4). Лицевая сторона шурфа, на которой будут проводиться наблюдения снежного покрова, должна находиться в тени, быть вертикальной и ровной. На наклонной местности затененная сторона для проведения наблюдений должна быть расположена параллельно линии склона, которая представляет собой естественный уклон ската вниз.

Для характеристики отдельного слоя снега недостаточно просто классифицировать наблюдаемые формы зерен. Также следует зарегистрировать дополнительные свойства снега, такие как плотность, чтобы дать как можно более точное описание типа снега и его состояния. В Приложении С.2 «Наблюдения за снежным покровом» в работе Фирц и др. (2009) приводятся рекомендации относительно того, как это лучше всего сделать, с примерами в графической или табличной форме.

2.6 ВЫСОТА СЛОЯ ВЫПАВШЕГО СНЕГА

В настоящее время не существует общепринятых автоматических методов измерения ВНС. Основная причина заключается в том, что ВНС должна измеряться как накопление на поверхности, свободной от снега, в то время как подходящие автоматические приборы для измерения высоты снежного покрова обычно используются для измерения постепенного увеличения высоты на существующем снежном покрове. Если перед измерением на земле лежал снег, будет неправильным рассчитывать ВНС как разницу между двумя последовательными измерениями ВС, поскольку лежащий снег оседает и может подвергаться абляции, что приведет к заниженной оценке ВНС. В связи с этим, здесь приводится описание только ручных методов.

2.6.1 Ручные измерения высоты слоя выпавшего снега

2.6.1.1 Методы проведения измерений

Высота выпавшего снега измеряется градуированным прибором, например, линейкой, через определенный промежуток времени (наиболее распространенный интервал составляет 24 часа). Нетронутый снег накапливается на искусственной поверхности (например, на снегомерной доске; см. рис. 2.19) в течение заранее заданного промежутка времени для измерения, а затем в накопившийся снег вертикально вставляется линейка для получения измерения его высоты. После наблюдения искусственная поверхность очищается от снега и укладывается поверх существующего снежного покрова для подготовки к следующему периоду наблюдения.

Другой метод измерения ВНС заключается в использовании цилиндрического контейнера, например, дождемера, достаточного диаметра (не менее 20 см) и глубины, чтобы предотвратить выдувание снега. Таким образом, снег может собираться в контейнер в неуплотненном виде, и его можно измерять линейкой для оценки высоты. Однако цилиндр, установленный достаточно высоко над поверхностью для предотвращения попадания низовой метели, также подвержен погрешности из-за ветра. Экран вокруг резервуара для сбора снега может уменьшить, но не устранить полностью эту погрешность.

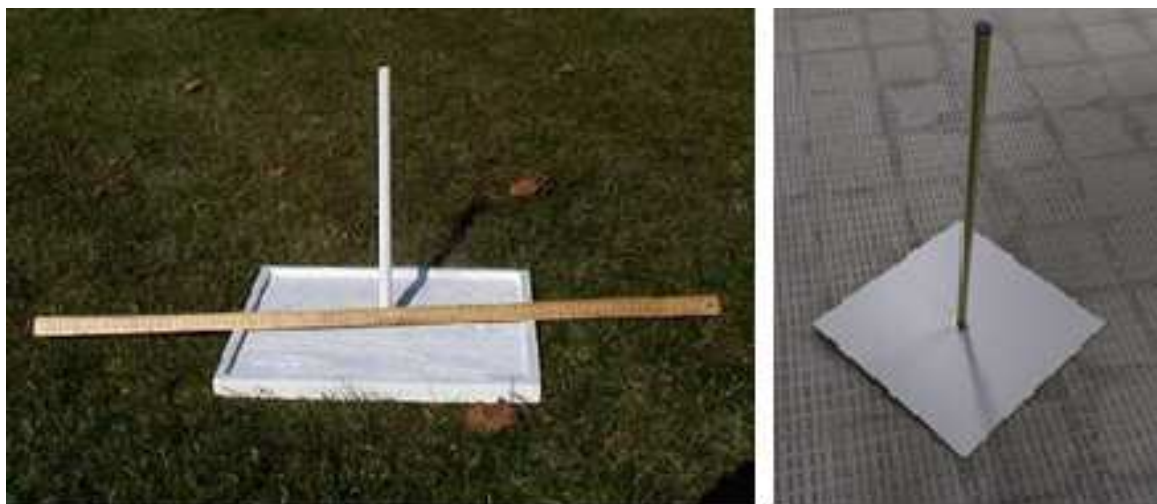


Рисунок 2.19. Примеры снегомерных досок для измерения ВНС. Доска слева называется «Weaverboard» и используется для наблюдений за свежеснег выпавшим снегом в Канаде (фото предоставлено Министерством охраны окружающей среды Канады). Доска справа, с градуированным стержнем в центре, используется Государственным метеорологическим агентством Испании.

Была проделана определенная работа по оценке ВНС с помощью автоматических методов (Fischer, 2011), но оказалось, что этот показатель трудно оценить без руководства со стороны наблюдателя ввиду таких факторов, как дрейф и таяние.

2.6.1.2 **Процедуры измерения и передовая практика**

Измерение высоты слоя выпавшего снега следует проводить с помощью снегомерной доски из фанеры (толщиной не более 2 см) размером (длина и ширина) от 40 до 60 см. Снегомерная доска должна быть окрашена в белый цвет или покрыта белым войлоком, чтобы в течение дня доска не нагревалась сильнее, чем поверхность снега. Снегомерную доску следует укладывать непосредственно на оголенную почву до накопления снега. Соображения относительно размещения и воздействия приводятся в разделе 2.2.

В течение периода наблюдения снег должен свободно накапливаться на снегомерной доске. Наблюдения должны проводиться каждый день в одно и то же время. Наблюдатель должен измерить ВНС на доске с помощью линейки с точностью до ближайших 0,5 см. Высоту слоя выпавшего снега, возможно, потребуется измерять в нескольких местах на доске, если снег распределен неравномерно, в этом случае следует указать среднюю высоту. После измерения и регистрации высоты, доску следует очистить и уложить поверх существующего снежного покрова на следующий период накопления. Если снежный покров на доске занимает менее 50 % площади или слишком тонок для измерения (менее 0,5 см), наблюдатель должен записать «след» в качестве наблюдения. Поверхностный иней на снегомерной доске не следует считать новым снегом и его необходимо счищать во время наблюдения.

В случае перераспределения ветра или таяния наблюдатель должен будет высказать суждение при интерпретации ВНС. Если ветер сдул снег со снегомерной доски частично или полностью, наблюдатель должен оценить, сколько снега упало бы на доску в отсутствие ветра. Наблюдатель может сделать эту оценку, учитывая то, что можно наблюдать в непосредственной близости от доски, и принимая во внимание как наличие дрейфов, так и мелких участков. При неоднородной высоте снега после снегопада из-за перераспределения ветра наблюдатели должны проводить многократные измерения до тех пор, пока они не будут удовлетворены своей приближенной оценкой среднего значения. Если в период накопления снега произошло таяние, наблюдатель должен оценить, какой была бы высота слоя выпавшего снега, если бы таяния не произошло. В любом случае наблюдатель должен сделать пометку о таянии или сдувании снега так, чтобы было известно, что наблюдение является оценкой, а не измерением по линейке. Если на доске обнаружен снег, но наблюдатель уверен, что с момента последнего периода наблюдений снег не выпадал (например, в случае поземка), наблюдатель должен отметить, что ВНС равна нулю.

2.6.1.3 **Источники ошибки**

Основным источником ошибки при измерениях ВНС является оценка высоты при наличии либо перераспределения ветра, либо таяния, и она может в значительной степени зависеть от опыта наблюдателя. Величину этих ошибок трудно оценить, но она может достигать 100 %. Ошибки из-за ветра можно уменьшить за счет правильного размещения снегомерной доски и минимизации воздействия на нее. Ошибки, связанные с таянием, можно свести к минимуму, если не подвергать снегомерную доску прямому воздействию солнечных лучей. Время измерения также может сильно влиять на неопределенность измерения. Особенно в период оттепелей проведение наблюдений на час раньше или позже может дать разницу в несколько сантиметров.

Небольшие ошибки (менее 0,5 см) могут возникнуть в результате неправильного прочтения измерений высоты на линейке, особенно под углом к поверхности снега. Их можно свести к минимуму, если считывать деления линейки под углом, максимально приближенным к перпендикуляру с поверхностью.

2.7 НАЛИЧИЕ СНЕГА НА ЗЕМЛЕ

Это наблюдение обычно проводится наблюдателем *in situ*, хотя могут использоваться полуавтоматические или автоматические методы, такие как фотометрия.

2.7.1 Ручные измерения наличия снега на поверхности земли

2.7.1.1 Методы проведения измерений

Ручное измерение НСП обычно заключается в визуальной оценке того, покрыт ли участок для измерений в поле зрения снегом любой высоты более чем на 50 % или менее.

Фотометрические методы измерения наличия снега идентичны визуальным измерениям, за исключением того, что интерпретация наличия покрова осуществляется с помощью фотографии или прямой видеосвязи, а не лично. Разрабатываются автоматические методы получения этой информации из фотографий, но поскольку они не получили широкого распространения, здесь они не рассматриваются.

2.7.1.2 Процедуры измерения и передовая практика

Во-первых, необходимо определить участок, на котором будет проводиться оценка НСП. Это должен быть участок, на котором проводятся метеорологические и криосферные измерения, и он не должен ограничиваться областью вокруг снегомерной рейки. Поле обзора этого участка определено в п. 2.1.1.

Каждый день в одно и то же время следует визуально или с помощью фотографий наблюдать за полем зрения на участке для измерений и оценивать процент снежного покрова. Если доля снежного покрова превышает 50 %, то необходимо сообщить о наличии снега на участке. Если доля снежного покрова составляет менее 50 %, то необходимо сообщить об отсутствии снега на участке. Это наблюдение не зависит от точечного измерения ВС, хотя обратное утверждение будет неверным.

2.7.1.3 Источники ошибки

Основным источником ошибки в таком наблюдении является интерпретация наблюдателем доли снежного покрова, особенно когда она приближается к 50 %. При неправильной интерпретации сроки сообщения об отсутствии снега на участке могут сдвинуться на несколько дней.

СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Всемирная метеорологическая организация, 2008: *Руководство по гидрологической практике* (ВМО-№ 168), том I. Женева.
- Beaumont, R.T., 1965: Mt. Hood pressure snow gage. *Journal of Applied Meteorology*, 4:626–631.
- Farnes, P.F., B.E. Goodison, N.R. Peterson and R.P. Richards, 1983: *Metrication of Manual Snow Sampling Equipment*. Western Snow Conference, Final Report, Spokane, Washington.
- Fierz, C., R. L. Armstrong, Y. Durand, P. Etchevers, E. Greene, D. M. McClung, K. Nishimura, P. K. Satyawali and S. A. Sokratov, 2009: *The International Classification for Seasonal Snow on the Ground*. UNESCO-IHP, Paris, France, <https://cryosphericsscience.org/publications/snow-classification/>, accessed 23 January 2018.
- Fischer, A.P., 2011: *The Measurement Factors in Estimating Snowfall Derived from Snow Cover Surfaces Using Acoustic Snow Depth Sensors*. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50:681–699, <https://doi.org/10.1175/2010JAMC2408.1>
- Global Cryosphere Watch, 2018: *GCW Cryosphere Glossary*, <http://globalcryospherewatch.org/reference/glossary.php>, accessed 19 January 2018).
- Goodison, B. E., H. L. Ferguson and G. A. McKay, 1981: Measurement and data analysis. In: *Handbook of Snow* (D. M. Gray and D. H. Male, eds.), pp. 191–274. Reprint. Caldwell, NJ, USA, The Blackburn Press.
- Gottardi, F., C. Obléd, J. Gailhard and E. Paquet, 2012: Statistical reanalysis of precipitation fields based on ground network data and weather patterns: Application over French mountains. *Journal of Hydrology*, 432 (Supplement C), 154–167, [doi:10.1016/j.jhydrol.2012.02.014](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.014).
- Haberkorn, A. (ed.), 2019: *European Snow Booklet: An inventory of Snow Measurements in Europe*, doi:10.16904/envivat.59, 363 pp.
- Jacobson, M.D., 2010: Inferring Snow Water Equivalent for a Snow-Covered Ground Reflector Using GPS Multipath Signals. *Remote Sensing*, 2(10):2426–2441, [doi:10.3390/rs2102426](https://doi.org/10.3390/rs2102426).
- Johnson, J. B. and D. Marks, 2004: The detection and correction of snow water equivalent pressure sensor errors. *Hydrological Processes*, 18:3513–3525, [doi:10.1002/hyp.5795](https://doi.org/10.1002/hyp.5795).
- Koch, F., M. Prasch, L. Schmid, J. Schweizer and W. Mauser, 2014: Measuring Snow Liquid Water Content with Low-Cost GPS Receivers. *Sensors*, 20975–20999, [doi:10.3390/s141120975](https://doi.org/10.3390/s141120975).
- López-Moreno, J.I., S.R. Fassnacht, S. Beguería and J.B.P. Latron, 2011: Variability of snow depth at the plot scale: Implications for mean depth estimation and sampling strategies. *The Cryosphere*, 5(3):617–629.
- National Snow and Ice Data Center, 2018: NSIDC's Cryospheric Glossary. Boulder, CO, USA, <http://nsidc.org/cgi-bin/words/glossary.pl>, accessed 23 January 2018.
- Neumann, N. N. et al., 2006: Characterizing local scale snow cover using point measurements during the winter season. *Atmosphere-Ocean* 44, 3:257–269.
- Palmer, P.L., 1986: Estimating snow course water equivalent from SNOTEL pillow telemetry: An analysis of accuracy, Proceedings of the 54th Western Snow Conference, 81–86.
- Rovansek, R.J., D.L. Kane and L.D. Hinzman, 1993: Improving estimates of snowpack water equivalent using double sampling, Proceedings of the 61st Western Snow Conference, 157–163.
- Sigouin, M. J. P. and B.C. Si, 2016: Calibration of a non-invasive cosmic-ray probe for wide area snow water equivalent measurement. *The Cryosphere*, 10:1181–1190, [doi:10.5194/tc-10-1181-2016](https://doi.org/10.5194/tc-10-1181-2016).
- Smith, C.D., A. Kontu, R. Laffin and J.W. Pomeroy, 2017: An assessment of two automated snow water equivalent instruments during the WMO Solid Precipitation Intercomparison Experiment. *The Cryosphere*, 11:101–116.
- Sturm, M., J. Holmgren and G. E. Liston, 1995: A Seasonal Snow Cover Classification System for Local to Global Applications, *Journal of Climate*, 8(5):1261–1283, [doi:10.1175/1520-0442\(1995\)008<1261:ASSCCS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1995)008<1261:ASSCCS>2.0.CO;2).
- Sturm, M. and J. A. Holmgren, 1999: Self-recording snow depth probe, U.S. Patent No. 5,864,059. Washington, D. C., U.S. Patent and Trademark Office, <https://patents.google.com/patent/US5864059A/en>.
-

За дополнительной информацией просьба обращаться:

World Meteorological Organization

7 bis, avenue de la Paix – P.O. Box 2300 – CH 1211 Geneva 2 – Switzerland

Strategic Communications Office

Тел.: +41 (0) 22 730 83 14 – Факс: +41 (0) 22 730 80 27

Электронная почта: sra@wmo.int

public.wmo.int