

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) (WMO-No. 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 КριοНет, 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 свежеснежного покрова может не показаться критической при прогнозировании лавин, однако после выпадения 1 см снега на дорогах могут потребоваться снегоуборочные 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 Многолетнее1.4.4 **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		
	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	А				

Обозначения:

А: автоматическое Н: неавтоматическое

1.4.11 Приземная метеорология (на станциях КριοНет)

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 (ВМО). *Руководство по гидрологической практике: Том I — Гидрология: от измерений до гидрологической информации* (ВМО-№ 168). Женева, 1908. (обновлено в 2020 г)
- Fierz, C.; Armstrong, R.L.; Durand, Y. et al. *The International classification for seasonal snow on the ground*; IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 83, IACS Contribution No. 1, UNESCO-IHP, Paris, 2009. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000186462.locale=en>.
- Global Cryosphere Watch. Cryosphere Glossary web page. <https://globalcryospherewatch.org/reference/glossary.php>.
- Jacka, T. H.; Giles, A. B. Antarctic Iceberg Distribution and Dissolution from Ship-Based Observations. *Journal of Glaciology* 2007, 53 (182), 341–356. <https://doi.org/10.3189/002214307783258521>.
- National Snow and Ice Data Center. Cryosphere Glossary web page. <https://nsidc.org/learn/cryosphere-glossary>.
- Romanov, Y. A.; Romanova, N. A.; Romanov, P. Shape and Size of Antarctic Icebergs Derived from Ship Observation Data. *Antarctic Science* 2012, 24 (1), 77–87. <https://doi.org/10.1017/S0954102011000538>.
- World Meteorological Organization (WMO). *Snow cover measurements and areal assessment of precipitation and soil moisture*. Operational hydrology report (OHR) No. 35. (WMO-No. 749). Geneva, 1992.
- World Meteorological Organization (WMO). *The Global Observing System for Climate: Implementation Needs*, GCOS-200, WMO: Geneva, 2016.
-