



# СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АДК – аэрологическая диаграмма в косоугольной системе координат

АМП – агрометеорологический пост

АМРК – автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс

АМ – агрометеорологическая станция

АМС – автоматическая метеорологическая станция

АМСГ – авиационная метеорологическая станция гражданская

АРМ – автоматизированное рабочее место

АС – аэрологическая станция

АТ – абсолютная топография

БС – болотная метеорологическая станция

БЭ – блок электроники

ВМО – Всемирная метеорологическая организация

ВПИК – Всемирная программа исследования климата

ВСП – Всемирная служба погоды

ГМЦ – гидрометеорологический центр

ГП – гидрологический пост

ГСН – глобальная система наблюдений

ГСОД – глобальная система по обработке данных и сохранению материалов

ГСТ – глобальная система телесвязи

ДМРЛ – доплеровский метеорологический радиолокатор

ЕЦСПП – Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды

ИВО – измеритель высоты облаков

ИК – инфракрасный участок спектра излучения

КМ – книжка метеорологическая

КН – код наблюдений

КП – коэффициент пропускания

МАП – метеорологический авиационный пост

МВ – местное время

МГП – морской гидрометеорологический пост

МГЭИК – Межгосударственная группа экспертов по изменению

климата

МДВ – метеорологическая дальность видимости

МОД – метеорологическая оптическая дальность

МРЛ – метеорологический радиолокатор

МС – метеорологическая станция

МЦГМ – межрайонный центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

НЯ – неблагоприятные явления

ОГП – озерный гидрометеорологический пост

ОМС – озерная метеорологическая станция

ОПО – оптическая плотность облаков

ОТ – относительная топография  
ОЦГМ – областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды  
ОЯ – опасные явления  
ПК – персональный компьютер  
РЗ – радиозондирование  
РКИК – Рамочная конвенция об изменении климата  
РКС – реперная климатическая станция  
РЛС – радиолокационная станция  
СИ – международная система единиц (система интернациональная)  
СФМ – станция фонового мониторинга  
ТВ – видимый (телевизионные снимки) участок спектра излучения  
ТКП – технический кодекс установившейся практики  
ФАР – фотосинтетически активная радиация  
ЭДС – электродвижущая сила  
ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) – Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды  
EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) – Европейская организация по эксплуатации метеорологических спутников  
ETSI (European Telecommunications Standards Institute) – Европейский институт по стандартизации в области телекоммуникаций  
UTC (Universal Time Coordinated) – Всемирное координированное время)

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Практикум создан для студентов географических, природоведческих и гидрометеорологических специальностей, которые обучаются в учреждениях высшего образования. При его написании использован многолетний авторский опыт преподавания дисциплины «Метеорология и климатология» на факультете географии и геоинформатики Белорусского государственного университета.

*Метеорология* – наука об атмосфере Земли, физико-химических процессах и явлениях, которые развиваются в ней и определяют погоду и климат. *Климатология* – раздел метеорологии, который изучает среднее состояние климатической системы (атмосфера – гидросфера – литосфера – криосфера – биосфера) за продолжительное время для конкретной территории, зависящее от географических факторов.

Основным методом исследования, используемым в метеорологии и климатологии, являются *наблюдения*, так называемые измерения физических величин и качественная оценка атмосферных процессов. Эти процессы изменчивы во времени и пространстве, имеют сложный характер взаимодействия с земной поверхностью и космической средой. Во всех странах мира существует организованная сеть гидрометеорологических наблюдений, которая позволяет непрерывно отслеживать изменения физического состояния атмосферы.

Сотни тысяч метеорологических наблюдений проводят ежедневно у поверхности Земли, в средней и верхней атмосфере, также следят за режимом поверхностных вод суши, морей и океанов, за горными и полярными льдами. Наблюдения осуществляются тысячами гидрометеорологических станций и постов, сотнями кораблей, самолетов и буйковых станций, искусственных спутников Земли по единой глобальной программе с использованием однотипных инструментов.

Широкое распространение получили методы дистанционного зондирования атмосферы: шаропилотные методы, радиозондирование, радиолокация и спутниковое зондирование. В этом перечне источников гидрометеорологической информации особое место занимают автоматические метеорологические станции (АМС), которые представляют собой информационно-измерительные системы для проведения контактных и дистанционных измерений. АМС предназначены для сбора, обработки и передачи информации о метеорологических величинах атмосферы по каналам связи в мировые, национальные и региональные центры погоды.

Данные наблюдений и измерений обрабатываются и анализируются в соответствии с принятой методикой. Тем самым устанавливаются закономерности развития атмосферных процессов для использования в решении многочисленных практических задач, среди которых наиболее важное значение имеет прогнозирование погоды.

При написании учебного пособия преследовалась цель ознакомить студентов с организацией метеонаблюдений, строением и работой стандартных метеорологических приборов и инструментов, методами наблюдений и первичной обработки их результатов, а также с современными автоматизированными метеорологическими системами. По каждой теме учебника разработана система задач и контрольных вопросов, которые помогают усвоению теоретического материала и выработке у студентов навыков самостоятельной работы.

Искреннюю благодарность автор выражает заведующему кафедрой геологии и географии Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины кандидату географических наук, доценту А.И. Павловскому, старшему научному сотруднику Центра геоэкологии и климата Института природопользования НАН Беларуси кандидату географических наук В.И. Мельнику за тщательное рецензирование рукописи, полезные советы и замечания, учет которых способствовал улучшению содержания практикума.

*П.А. Ковриго*



# ОРГАНИЗАЦИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

## 1.1. Международное сотрудничество в области метеорологии

В каждой стране мира функционирует своя *государственная служба погоды*, основными задачами которой являются:

- организация гидрометеорологических наблюдений за состоянием атмосферы, воды, развитием сельскохозяйственных культур, уровнем загрязнения атмосферного воздуха, почвы и воды, радиационной обстановкой;
- сбор, обработка, анализ и распространение гидрометеорологической информации;
- обеспечение промышленных и сельскохозяйственных предприятий и учреждений прогнозами погоды, данными о гидрометеорологических условиях на реках, озерах и водохранилищах, состоянии посевов, уровне загрязнения атмосферы, почвы и воды, радиационной обстановке;
- составление и издание научно-практических справочников по климатическим, агроклиматическим и водным ресурсам, гидрометеорологическому режиму, уровню загрязнения окружающей среды;
- ведение фонда данных: сбор, учет, хранение и предоставление материалов гидрометеорологических наблюдений заинтересованным организациям и лицам.

Государственные метеорологические службы всех стран являются членами *Всемирной службы погоды* (ВСП), которая подчиняется *Всемирной метеорологической организации* (ВМО). ВСП представляет собой систему из трех взаимодействующих компонентов: глобальной системы наблюдений, глобальной системы телесвязи и глобальной системы по обработке и сохранению данных.

*Глобальная система наблюдений* (ГСН) включает метеорологические, актинометрические, аэрологические, агрометеорологические, гидрологические и океанографические станции, а также станции ракетного и радиозондирования, радиолокации, корабли погоды и метеорологические спутники.

*Глобальная система телесвязи (ГСТ)* предназначена для быстрого обмена данными наблюдений и обработанной информацией. Она включает кабельные, радио- и спутниковые линии связи, соединяющие глобальные, региональные и национальные метеорологические центры.

*Глобальная система по обработке данных и сохранению материалов (ГСОД)* состоит из 3 мировых (Вашингтон, Мельбурн, Москва), 34 региональных и 187 национальных метеорологических центров, сотрудничающих в подготовке анализа и прогнозов погоды. Например, в России организовано помимо Москвы еще два региональных метеорологических центра – в Новосибирске и Хабаровске.

*Мировые метеорологические центры* получают и сохраняют данные ГСН. На основе полученных данных составляются различные карты анализа и прогноза погоды для всего земного шара и отдельных полушарий. С помощью ГСТ аналитические и прогнозные карты передаются в национальные метеорологические центры для составления прогноза погоды для их конкретной местности.

*Региональные метеорологические центры* осуществляют автоматизированную обработку данных и создают прогнозы для больших частей мира – океанов, континентов и отдельных областей (регионов).

Региональные центры используют данные *национальных метеорологических центров*, которые выполняют сбор и распространение метеорологической информации с территории каждой страны и в то же время пользуются всей необходимой им информацией с территорий других стран для корректировки своих местных прогнозов.

Первичная гидрометеорологическая информация обрабатывается (кодируется) непосредственно на гидрометеорологических станциях и передается с помощью персональных компьютеров в национальные метеорологические центры, которые обрабатывают данные для собственного использования и передают их в региональные центры.

Для научного анализа всего глобального массива данных, совершенствования методов прогнозирования и выработки практических рекомендаций ВМО приняла ***Всемирную программу исследования климата*** (ВПИК). Цели этой программы:

- разработка методов использования климатических знаний в различных сферах человеческой деятельности;
- проведение исследований влияния климата на деятельность человека;
- изучение изменения климата под воздействием природных и техногенных факторов.

В 1992 г. ООН утвердила *Рамочную конвенцию об изменении климата* (РКИК), в которой говорится, что в результате деятельности человека существенно увеличилась концентрация парниковых газов в атмосфере, что, в свою очередь, привело к потеплению глобального климата и негативному влиянию на природные системы и жизнедеятельность человечества. Конечная цель конвенции — снизить выбросы парниковых газов, что должно предотвратить опасное антропогенное воздействие на климатическую систему.

Основные обязанности сторон конвенции заключаются в следующем:

- изучение изменения климата на глобальном и национальном уровнях;
- оценка воздействия глобального потепления на окружающую среду и социально-экономическую сферу;
- инвентаризация парниковых газов;
- разработка методов адаптации природных и антропогенных геосистем к глобальному потеплению;
- реализация практических мер по снижению выбросов парниковых газов.

Для решения проблемы глобального изменения климата в дополнение к Рамочной конвенции в 1997 г. был принят *Киотский протокол*, который регулирует выбросы парниковых газов каждой страны в рамках установленных международных квот (норм).

На *Конференции ООН по изменению климата* (Париж, 2015) было заключено историческое соглашение по борьбе с изменением климата и активизации деятельности, необходимой для обеспечения устойчивого низкоуглеродного развития. Главная цель Парижского соглашения заключается в разработке и принятии глобальных мер по удержанию повышения глобальной температуры в XXI в. в пределах 1,5–2 °С.

Парижское соглашение заменило Киотский протокол после 2020 г. и в настоящее время является международной правовой основой для осуществления деятельности государств — сторон РКИК ООН, направленной на сокращение выбросов парниковых газов.

Разработан и реализуется ряд международных программ по изучению крупномасштабных термогидродинамических процессов в системе «океан — атмосфера — суша». Программы включают изучение Мирового океана, атмосферы, гео- и биосферы, а также изменчивости и предсказуемости климата.

Плодотворное международное сотрудничество осуществляется в области космической метеорологии. В настоящее время за состоянием атмосферы и земной поверхности ведется постоянный мониторинг с помощью искусственных спутников Земли. Например, в

1986 г. была создана *Европейская организация по эксплуатации метеорологических спутников* (EUMETSAT), в которую входит 27 европейских стран. EUMETSAT одновременно управляет семью метеорологическими спутниками на полярных и геостационарных орбитах, радиометры которых работают в видимом и инфракрасном спектрах излучения. Спутниковая система обеспечивает непрерывные наблюдения за состоянием атмосферы, океана и ледяных полей в полярных регионах, отслеживает глобальный климат, озоносферу и подстилающую поверхность океанов и континентов. Основная цель EUMETSAT – предоставлять информационные услуги заинтересованным странам для предупреждения аномалий и стихийных бедствий для защиты жизни, имущества и экономики.

Плодотворно действует независимая международная организация – *Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды* (ECMWF), который является независимой межправительственной организацией. Он размещается в трех регионах: Рединг (Великобритания), Болонья (Италия) и Бонн (Германия). ECMWF управляет одним из крупнейших суперкомпьютерных комплексов в Европе и крупнейшим в мире архивом данных численного прогноза погоды. В Центре работают около 350 сотрудников, в основном из государств – членов организации.

Основными задачами центра являются:

- разработка количественных методов среднесрочных прогнозов (на две недели);
- оказание метеорологических услуг государствам – членам ECMWF;
- пополнение банка данных, их архивирование, хранение и предоставление потребителям;
- участие в реализации программ и экспериментов ВМО.

Центр оснащен современными математическими совмещенными моделями общей циркуляции атмосферы и океана, а также мощными компьютерами. Результаты оперативных и научных разработок центра доступны другим потребителям через ГСТ, управляемую ВМО.

В 1988 г. ВМО утвердила *Межгосударственную группу экспертов по изменению климата* (МГЭИК), основная задача которой – анализировать научные знания в области изучения изменений современного климата Земли. Кроме того, группа разрабатывает рекомендации по адаптации социально-экономической деятельности человека к новым климатическим условиям (подготовлено и издано шесть оценочных докладов).

Главный вывод, вытекающий из Шестого оценочного доклада МГЭИК (2021), в том, что средняя температура воздуха на Земле

достигла максимума за 125 тыс. лет и продолжает расти. К концу этого столетия без сокращения выбросов парниковых газов глобальная температура повысится на 5–6 °С. Чем сильнее нагревается планета, тем больше становится экстремальных и опасных погодных явлений (наводнения, засухи, жара, лесные пожары, ливни, половодья), усиливаются тропические циклоны, увеличивается интенсивность влагооборота и выпадение осадков и др.

В апреле 2021 г. проведен виртуальный *Международный саммит по вопросам климата*, организованный США. В саммите приняли участие 40 глав экономически развитых государств и правительств, на долю которых приходится 80% мировых выбросов вредных веществ в атмосферу. Целью саммита является мобилизация ресурсов крупнейших экономик мира для того, чтобы сделать возможным достижение жизненно важной цели Парижского соглашения по ограничению роста глобальной температуры.



## 1.2. Гидрометеорологическая информация и методы ее получения

В настоящее время в мире сформировалась *Комплексная глобальная система гидрометеорологических наблюдений* (рис. 1.1). Основой получения гидрометеорологической информации для решения многочисленных социально-экономических задач является сеть приземных метеорологических станций (МС). Первая в мире сеть МС была создана в Италии после изобретения ртутного барометра (1643), позднее – в Англии (1723), России (1725), Беларуси (1770).

Приземные метеорологические наблюдения представляют собой методы определения характеристик физического состояния и развития процессов в атмосфере во взаимодействии с подстилающей поверхностью и космическим пространством. Эти наблюдения включают инструментальные измерения в установленные сроки метеорологических величин и визуальное определение атмосферных явлений.

*Метеорологическая станция* – учреждение, которое круглосуточно проводит регулярные наблюдения за атмосферными процессами, отслеживает изменения отдельных метеорологических величин и явлений.

Метеостанции (а их в мире около 10 тыс.) по объему выполняемых работ, штату сотрудников и оборудованию делятся на ряды: I, II и III (табл. 1.1).

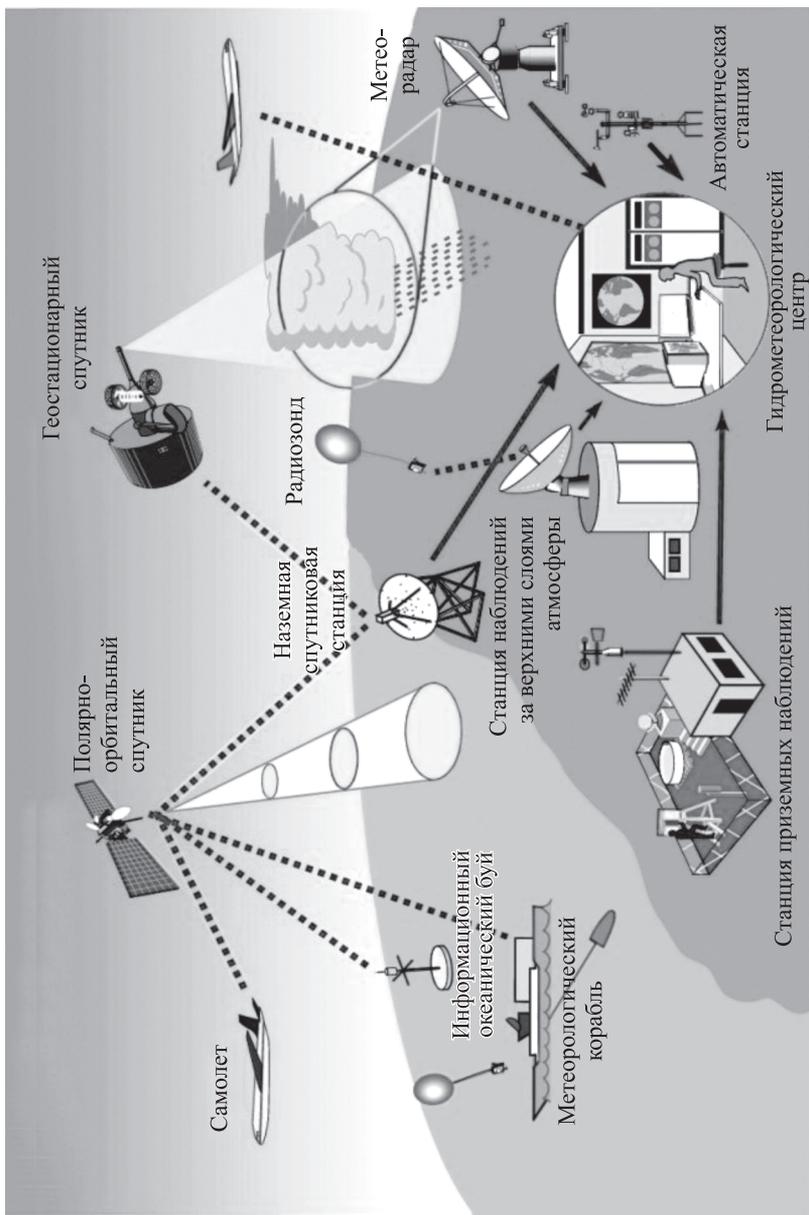


Рис. 1.1. Комплексная глобальная система гидрометеорологических наблюдений

Таблица 1.1. Классификация метеостанций

Тип станций	Разряд	Сокращенное обозначение
Метеорологические	I, II, III	М
Автоматические радиометеостанции	Не подразделяются	АРМС
Аэрологические	I, II	АЭ
Гидрологические	I, II	Г
Морские гидрометеорологические (прибрежные)	I, II	МГ
Судовые гидрометеорологические	I, II, III	СГ
Специализированные:		
агрометеорологические	Не подразделяются	А
болотные	То же	Б
водно-балансовые	>>	Вб
дрейфующие (Северный полюс)	>>	СП
озерные	>>	О
селестоковые	>>	Сс
снеголавинные	>>	Сл
устьевые	>>	У

**Метеостанции I разряда** имеют наиболее полную программу наблюдений. Помимо проведения и обработки данных наблюдений они обеспечивают методическое и техническое руководство метеостанциями II и III разрядов и метеорологическими постами. Станции I разряда обслуживают заинтересованные учреждения и предприятия, предоставляя данные о метеорологических условиях и материалы по климату.

**Метеостанции II разряда** кроме круглосуточного проведения и обработки наблюдений передают данные по ГСТ.

**Метеостанции III разряда** осуществляют наблюдения по сокращенной программе и на меньшее количество сроков.

В соответствии с рекомендациями ВМО, оптимальный размер земельного участка для организации наблюдений на МС должен быть не менее 1 га. Вокруг метеорологической площадки устанавливается охранная зона шириной 200 м от ограды. В пределах охранной зоны запрещается хозяйственная деятельность, которая может повлиять на точность измерений.

Метеостанция располагается на открытом и ровном месте, чтобы ее наблюдения были характерными (репрезентативными) для данного ландшафта. Рядом со станцией не должно быть предметов, которые могут повлиять на показания приборов. В равнинных природных условиях для получения достаточно полной и достоверной характеристики температурного режима необходима сеть станций с расстоянием между ними 50 км, а в горных районах — 30–40 км.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений .....	3
Предисловие .....	5
<b>ГЛАВА 1. ОРГАНИЗАЦИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ</b> .....	7
1.1. Международное сотрудничество в области метеорологии .....	7
1.2. Гидрометеорологическая информация и методы ее получения ...	11
1.3. Метеорологические наблюдения в Республике Беларусь .....	20
1.4. Требования к организации и производству наблюдений на метео- станции .....	31
<b>ГЛАВА 2. ВРЕМЯ И СЧИСЛЕНИЕ. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СРОКИ НАБЛЮДЕНИЙ</b> .....	33
2.1. Истинное, среднее солнечное и поясное время .....	33
2.2. Сроки метеорологических наблюдений .....	37
<b>ГЛАВА 3. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ</b> .....	45
3.1. Основные физические свойства воздуха: плотность, температура и давление .....	45
3.2. Барометр рабочий сетевой БРС-1М .....	47
3.3. Барометр-анероид .....	48
3.4. Барограф .....	50
3.5. Барометрическое нивелирование .....	52
3.6. Барическая ступень .....	52
<b>ГЛАВА 4. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ</b> .....	57
4.1. Виды солнечной радиации .....	57
4.1.1. Физико-технические принципы строения актинометри- ческих приборов .....	60
4.2. Измерение прямой солнечной радиации .....	60
4.3. Термоэлектрический пиранометр Янишевского .....	61
4.4. Термоэлектрический альбедометр .....	63
4.5. Термоэлектрический балансомер .....	64
4.6. Стрелочный актинометрический гальванометр ГСА-1 .....	65
4.7. Электролитический интегратор Х-607 .....	66
4.8. Актинометрическая стойка и теневое кольцо .....	67
4.9. Порядок проведения актинометрических наблюдений .....	68
4.9.1. Обработка данных измерений .....	69
4.10. Гелиограф .....	71

<b>ГЛАВА 5. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ И ВОЗДУХА</b> . . .	76
5.1. Метеорологические термометры . . . . .	76
5.1.1. Температурные шкалы . . . . .	78
5.2. Определение состояния подстилающей поверхности . . . . .	79
5.3. Измерение температуры почвы . . . . .	80
5.3.1. Измерение температуры почвы в пахотном слое . . . . .	84
5.3.2. Вытяжные почвенно-глубинные термометры . . . . .	86
5.3.3. Автоматизированное измерение температуры почвы . . . . .	89
5.4. Мерзлотомер . . . . .	91
5.5. Измерение температуры воздуха . . . . .	92
5.6. Психрометрическая будка . . . . .	93
5.7. Термограф . . . . .	95
<b>ГЛАВА 6. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА</b> . . . . .	100
6.1. Характеристики влажности воздуха . . . . .	100
6.2. Психрометрический метод измерения влажности воздуха . . . . .	102
6.2.1. Станционный психрометр . . . . .	103
6.2.2. Аспирационный психрометр Ассмана . . . . .	106
6.3. Гигрометрический метод измерения влажности воздуха . . . . .	109
<b>ГЛАВА 7. ГИДРОМЕТЕОРЫ</b> . . . . .	117
7.1. Понятие о метеорах . . . . .	117
7.2. Формы облаков и их классификация . . . . .	117
7.3. Определение облачности и форм облаков . . . . .	135
7.4. Определение высоты облаков и их мощности . . . . .	136
7.5. Определение метеорологической дальности видимости . . . . .	139
7.6. Направление и скорость движения облаков . . . . .	141
7.7. Оптическая плотность облаков . . . . .	142
<b>ГЛАВА 8. ВЫПАДАЮЩИЕ ГИДРОМЕТЕОРЫ</b> . . . . .	145
8.1. Атмосферные осадки и явления . . . . .	145
8.2. Осадки, выпадающие из облаков . . . . .	146
8.3. Оседающие гидрометеоры . . . . .	148
8.4. Литометеоры . . . . .	150
8.5. Измерение количества осадков, выпадающих из облаков . . . . .	152
8.6. Плювиограф . . . . .	155
8.7. Гололедный станок . . . . .	157
<b>ГЛАВА 9. СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ</b> . . . . .	160
9.1. Наблюдения за снежным покровом . . . . .	160
9.2. Измерение высоты снежного покрова . . . . .	161
9.3. Весовой снегомер . . . . .	163
9.4. Ландшафтно-маршрутные снегомерные съемки . . . . .	165
9.5. Код наблюдений для передачи данных снегомерных съемок КН-24 . . . . .	167

<b>ГЛАВА 10. ВЕТЕР</b> .....	171
10.1. Характеристики ветра .....	171
10.2. Флюгер .....	172
10.3. Анеморумбометр М-63М-1М .....	175
10.4. Анемометр ручной чашечный МС-13 .....	176
10.5. Анемометр ручной индукционный АРИ-49 .....	177
10.6. Шкала Бофорта .....	178
<b>ГЛАВА 11. ПРОГНОЗ ПОГОДЫ</b> .....	182
11.1. Синоптический анализ и методы прогноза погоды. ....	182
11.2. Синоптические карты и международный код для передачи данных метеорологических наблюдений .....	182
11.3. Составление синоптической карты .....	188
11.4. Дешифровочные признаки спутниковых снимков в видимом и инфракрасном спектрах. ....	223
11.4.1. Международная шкала цветовых кодов .....	229
<b>ГЛАВА 12. РАДИОЗОНДИРОВАНИЕ</b> .....	232
12.1. Стреление аэрологической диаграммы и определение стратификации атмосферы .....	236
<b>ГЛАВА 13. РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ</b> .....	240
13.1. Импульсный некогерентный МРЛ-5 .....	241
13.2. Доплеровский метеорологический радиолокатор .....	244
<b>ГЛАВА 14. АВТОМАТИЧЕСКИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ</b> .....	254
14.1. Автоматическая метеорологическая измерительно-информационная система «Пеленг С-01» .....	256
14.2. Автоматическая метеорологическая измерительно-информационная система «Vaisala HydroMet MAWS» .....	266
14.2.1. Датчики солнечной радиации .....	272
Приложения .....	278
Ответы к задачам .....	297
Литература .....	298