

Учреждение образования  
«Гомельский государственный университет  
имени Франциска Скорины»

**Т. Г. ФЛЕРКО**

**МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ.  
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЗДУХА**

Практическое пособие

для студентов специальностей  
1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)»,  
1-33 01 02 «Геоэкология»

Гомель  
ГГУ им. Ф. Скорины  
2022

УДК 551.510(076)  
ББК 26.233.0я73  
Ф715

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук А. Н. Галкин,  
кандидат географических наук О. В. Шершнев

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом  
учреждения образования «Гомельский государственный  
университет имени Франциска Скорины»

**Флерко, Т. Г.**

Ф715 Метеорология и климатология. Физические свойства  
воздуха : практическое пособие / Т. Г. Флерко ; Гомельский  
гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины,  
2022. – 44 с.  
ISBN 978-985-577-874-6

Практическое пособие подготовлено с целью оказания помощи  
студентам в усвоении теоретического материала по дисциплине  
«Метеорология и климатология». Приведены описания устройства  
классических метеорологических и актинометрических приборов,  
задачи для самоподготовки, задания для практических работ и кон-  
трольные вопросы. Приложения включают справочные данные, необ-  
ходимые для решения задач.

Адресовано студентам специальностей 1-31 02 01-02 «Геогра-  
фия (научно-педагогическая деятельность)», 1-33 01 02 «Геоэколо-  
гия».

УДК 551.510(076)  
ББК 26.233.0я73

**ISBN 978-985-577-874-6**

© Флерко Т. Г., 2022  
© Учреждение образования «Гомельский  
государственный университет

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	4
1. Организация метеорологических наблюдений.....	5
2. Солнечная радиация.....	9
3. Атмосферное давление.....	19
4. Температура воздуха и почвы.....	28
Литература.....	38
Приложение А. Солнечная радиация.....	39
Приложение Б. Атмосферное давление.....	41
Приложение В. Температура воздуха и почвы.....	44

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина государственного компонента «Метеорология и климатология» направлена на получение современных представлений об атмосферных процессах и закономерностях формирования погоды и климата. Особое внимание обращается на объяснение физической сущности атмосферных явлений и процессов, а также на прямые и обратные связи, которые существуют между ними и отдельными компонентами климатической системы – атмосферой, океанами, криосферой и сушей.

В пособии освещены четыре раздела курса. В первом разделе «Организация метеорологических наблюдений» дается краткая информация о типах метеостанций, их устройстве, порядке наблюдения за метеорологическими величинами, сети метеостанций в Республике Беларусь. Последующие три темы рассматривают такие физические характеристики, как солнечная радиация, атмосферное давление и температура. Результатом изучения этих тем являются навыки работы с классическими приборами, применяемыми для измерения метеорологических величин, решения задач, работы с картографическим материалом, обработки и интерпретации метеорологических данных.

Издание содержит описание метеорологических и актинометрических приборов, методов наблюдений, первичной обработки результатов, полученных при измерении метеорологических величин. В каждом разделе помещены задания для практической работы и сформулированы контрольные вопросы для самопроверки, помогающие студентам усвоить теоретический материал и приобрести навыки работы с приборами и установками, применяемыми на метеорологических станциях и в полевых условиях.

Пособие соответствует программе лекционного курса «Метеорология и климатология», читаемого на первом курсе для студентов геолого-географического факультета специальностей 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)», 1-33 01 02 «Геоэкология».

# 1. ОРГАНИЗАЦИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

**Цель:** ознакомиться с правилами проведения метеорологических наблюдений, устройством метеорологической площадки.

Наблюдения над большинством метеорологических элементов проводятся станцией на специально оборудованном месте, называемом *метеорологической площадкой*.

Метеорологическая площадка служит для установки приборов и оборудования, необходимых при производстве метеорологических наблюдений в приземном слое атмосферы.

Место, предназначенное для метеорологической площадки, должно удовлетворять следующим основным требованиям: оно должно быть *открытым, ровным* и примерно *горизонтальным*.

Метеорологическая площадка выбирается на участке, характерном (типичном) для окружающей местности и не отличающимся от окружающей территории какими-либо особенностями теплообмена и влагообмена подстилающей поверхности с атмосферой.

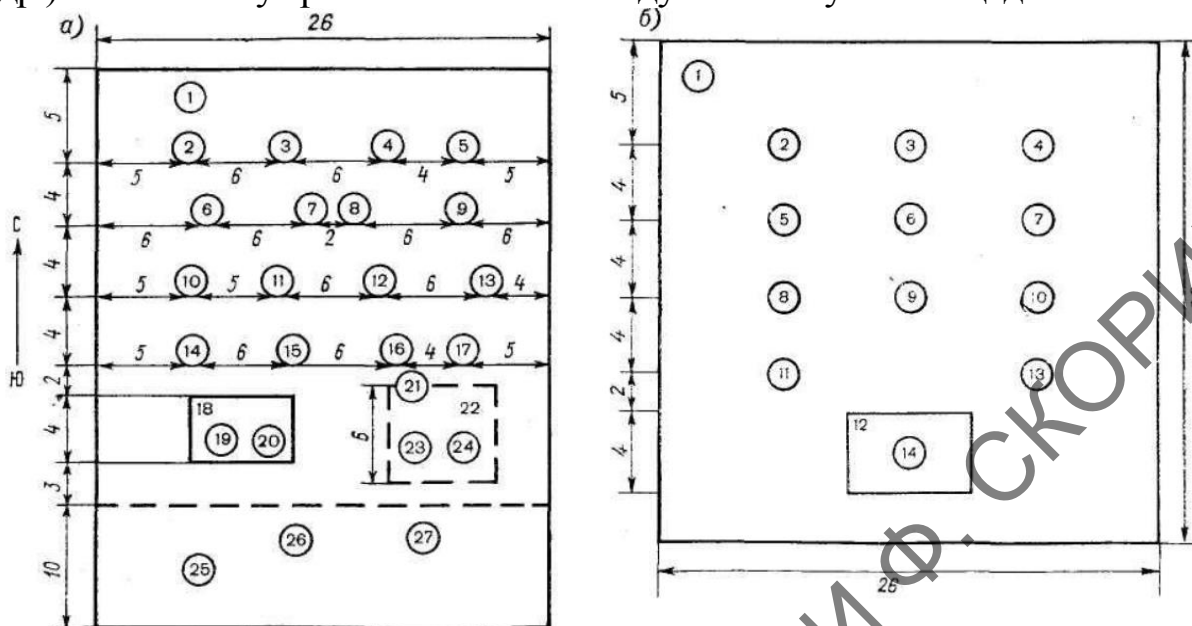
Характерность метеорологической площадки обеспечивается тем, что она располагается на преобладающих формах рельефа, наблюдающихся в районе, и удалена от источников влаги (море, озеро, река, водохранилище) на расстояние не менее 100 м от уреза воды при максимальном уровне воды в водоеме.

Метеорологическая площадка станции должна иметь форму квадрата (со стороной 26 м), одна сторона которого ориентирована в направлении север – юг. На станциях с неполной программой наблюдений (без наблюдений за температурой почвы на глубинах под естественным покровом) разрешается уменьшение площадки до размеров 20×16 м.

Метеорологические приборы и оборудование на площадке должны быть размещены в соответствии с планом (рисунок 1.1). Мачты с анеморумбометром и флюгерами, а также гололедный станок устанавливаются в северной части площадки; психрометрическая будка и будка для самописцев, а также осадкомер и плевниограф размещаются в середине площадки; южная часть площадки отводится для наблюдений за температурой почвы.

Для производства актинометрических и теплобалансовых наблюдений площадка дополнительно увеличивается к югу, причем актинометри-

ческие и градиентные установки располагаются севернее почвенных установок. Установки для других видов наблюдений (загрязнения атмосферы и др.) могут располагаться к западу и востоку от площадки.



*а) полная программа наблюдений:*

*1 – геодезический репер станции;*

*2 – флюгер с легкой доской; 3 – датчик анеморумбометра;*

*4 – флюгер с тяжелой доской, 5 – гололедный станок;*

*6 – будка психрометрическая; 7 – снегомерная рейка;*

*8 – будка психрометрическая запасная; 9 – будка для самописцев;*

*10 – прибор для измерения МДВ; 11 – осадкомер; 12 – пьювиограф;*

*13 – запасной столб осадкомера; 14 – снегомерная рейка;*

*15 – гелиограф; 16 – ледоскоп; 17 – росограф;*

*18 – оголенный участок для установки напочвенных (19)*

*и коленчатых (20) термометров Савинова; 21 – снегомерная рейка;*

*22 – участок с естественным растительным покровом для установки почвенно-глубинных термометров (23) и мерзлотомера (24);*

*25 – установка для измерения вертикальных градиентов температуры и влажности воздуха;*

*26 – установка для измерения изменчивости скорости ветра с высотой;*

*27 – актинометрическая установка (стойка с приборами);*

*б) сокращенная программа наблюдений:*

*1 – геодезический репер станции;*

*2 – флюгер с легкой (тяжелой) доской; 3 – анеморумбометр;*

*4 – гололедный станок; 5 – будка психрометрическая;*

*6 – снегомерная рейка; 7 – будка психрометрическая запасная;*

*8 – осадкомер; 9 – пьювиограф; 10 – запасной столб осадкомера;*

*11, 13 – снегомерные рейки;*

*12 – оголенный участок для установки напочвенных термометров;*

Рисунок 1.1 – План размещения оборудования и приборов на метеорологической площадке (расстояние в метрах)

Для сохранения поверхности в естественном состоянии на площадке прокладываются специальные дорожки шириной 40–50 см с таким расчетом, чтобы наблюдатель имел возможность производить наблюдения в установленном порядке с наименьшей затратой времени на переходы от одной установки к другой. Рекомендуется покрывать дорожки утрамбованным песком или мелким щебнем.

Метеорологическая площадка должна быть огорожена для сохранения естественной поверхности площадки, а также для сохранности установленного на ней оборудования. Ограда должна обеспечивать хорошую естественную вентиляцию любого места на площадке, а зимой не способствовать образованию сугробов. Рекомендуется стандартная ограда из проволочной сетки с ячейками размером 10×10 см, натянутой на металлические рамы. Рамы укрепляются на металлических трубах либо железобетонных или деревянных столбах высотой 1,2–1,5 м над поверхностью земли.

Калитка для прохода на метеорологическую площадку устанавливается с северной стороны ограды. Калитка должна запираться.

Метеорологическая площадка должна располагаться по возможности недалеко от служебного помещения станции (не далее 150 м) и быть под постоянным контролем дежурных наблюдателей.

*Сроками наблюдений* называются определенные, точно установленные моменты времени (интервал времени продолжительностью 10 мин, заканчивающийся точно в указанный час), с наступлением которых на всех станциях производятся метеорологические наблюдения.

Во всем мире на наземных метеорологических станциях производятся одновременные (синхронные) наблюдения в 00, 03, 06, 09, 12, 15, 21 ч по единому – гринвичскому – времени (времени нулевого пояса). Результаты наблюдений за эти так называемые синоптические сроки немедленно передаются по телефону, телеграфу или по радио в органы службы погоды, где по ним составляются синоптические карты и другие материалы, используемые для предсказания погоды.

Сеть гидрометеорологических наблюдений на территории Республики Беларусь включает 191 гидрометеорологический объект. В их числе 6 областных центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 3 межрайонных центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 51 метеорологическая станция, 7 гражданских авиа-

ционных метеорологических станций, 5 агрометеорологических станций. На этих объектах ведутся метеорологические наблюдения.

Радиозондирование атмосферы проводят аэрологические станции в Минске, Бресте и Гомеле.

Метеорологическая служба выполняет следующие виды работ:

- проводит регулярные наблюдения за состоянием атмосферы, собирает информацию, анализирует ее и обобщает;
- составляет метеорологические прогнозы, предоставляет информацию о фактически ожидаемых погодных условиях, предупреждает об опасных метеорологических явлениях;
- ведет климатический кадастр;
- изучает особенности климатических и агрометеорологических условий на территории Республики Беларусь, проводит анализ региональных изменений климата;
- обеспечивает в установленном порядке государственных органов, иных организаций, отраслей экономики и населения всеми видами метеорологической информацией;
- участвует в межгосударственном обмене информацией о состоянии окружающей среды в соответствии с рекомендациями ВМО и ЮНЕСКО.

## Задания для практической работы

1. Перенести в тетрадь план размещения оборудования и приборов на метеорологической площадке полной и сокращенной программы наблюдений.

2. Составить таблицу метеорологических элементов, измеряемых величин и приборов, которыми они фиксируются на метеостанциях (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Метеорологические элементы и измеряемые величины

Метеорологический Элемент	Измеряемая величина	Единицы измерения	Метеорологические приборы

3. Составить карту метеорологической сети Республики Беларусь с указанием различных типов метеостанций.

## Контрольные вопросы



1. Какие основные требования предъявляются к метеорологическим наблюдениям?
2. Как устроена площадка полной программы наблюдений?
3. Как устроена площадка сокращенной программы наблюдения?
4. Какие метеорологические элементы измеряют на метеостанциях?
5. Что называют сроком наблюдений?

## 2. СОЛНЕЧНАЯ РАДИАЦИЯ

**Цель:** ознакомиться с назначением и устройством приборов для фиксации количества поступившей солнечной радиации, приемами расчета различных видов солнечной радиации и радиационного баланса.

### Метеорологические приборы

Раздел метеорологии, изучающий солнечную радиацию, называется *актинометрией*.

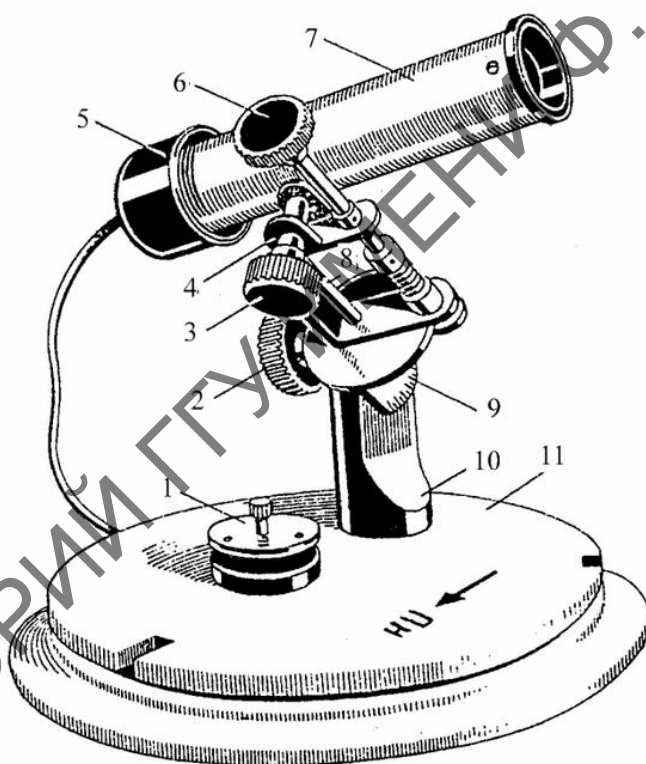
Основными актинометрическими приборами являются: актинометр, пиранометр (альбедометр), балансомер. Все эти приборы основаны на общем принципе. Лучистая энергия, поглощённая чувствительным элементом (обычно зачернённая пластинка), преобразуется в тепловую энергию с последующим преобразованием посредством термопары в электрическую энергию (ЭДС), измеряемую гальванометром. В итоге об интенсивности лучистой энергии судят по величине отклонения стрелки гальванометра.

**Актинометр термоэлектрический АТ-50** предназначен для измерения интенсивности прямой солнечной радиации на перпендикулярную к лучам поверхность. На рисунке 2.1 показан общий вид термоэлектрического актинометра. В колпаке трубки находится приёмник радиации, выполненный в виде диска диаметром 11 мм из серебряной фольги, зачернённой со стороны, обращенной к Солнцу. Диск помещён внутри корпуса трубки (7). К диску с обратной стороны приклеены активные спаи термопары. Под воздействием поглощённой солнечной радиации температура зачернённого диска и активных спаев термопары повышается по сравнению с температурой пассивных спаев,

укреплённых на корпусе и, следовательно, имеющих температуру наружного воздуха. Возникающий термоэлектрический ток, пропорциональный разности температур активных и пассивных спаев, измеряется гальванометром.

Перед измерением открытая трубка нацеливается на Солнце на 2 мин. Затем крышка надевается и через 25 с по гальванометру отсчитывается место нуля  $N_0$ . Через 25 с после снятия крышки три раза снимают отсчёты по гальванометру с интервалом 10–15 с. В среднее значение трёх отсчётов вносят поправку из поверочного свидетельства гальванометра.

Для непрерывной записи изменения прямой солнечной радиации служит самописец, состоящий из актинометра на гелиостате и гальванографа или регистрирующего потенциометра, который называется *актинографом*.



1 – крышка; 2, 3 – винты; 4 – ось склонений; 5 – экран; 6 – рукоятка; 7 – трубка; 8 – ось мира; 9 – сектор широт; 10 – стойка; 11 – основание

Рисунок 2.1 – Актинометр термоэлектрический АТ-50

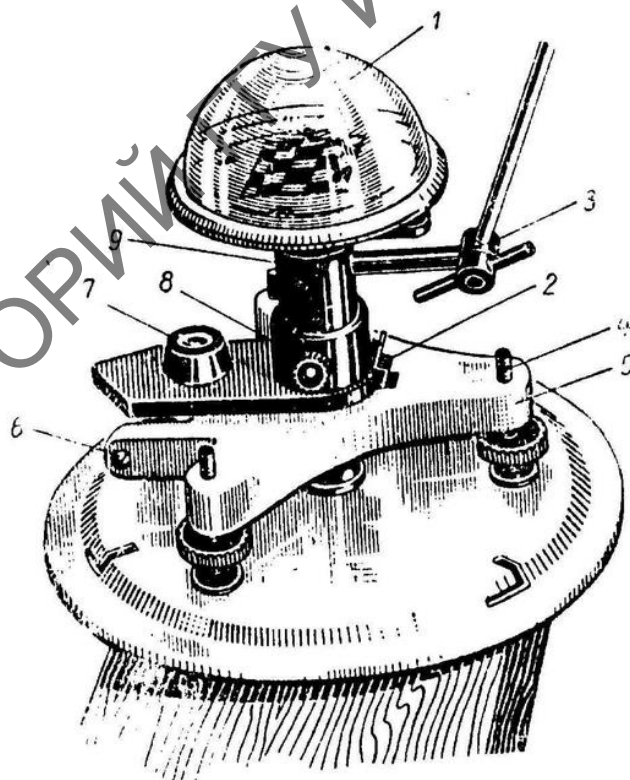
**Пиранометр термоэлектрический М-80М** предназначен для измерения интенсивности суммарной, рассеянной и отражённой коротковолновой радиации. Общий вид прибора показан на рисунке 2.2. Основной частью прибора является пиранометрическая головка, в которой находится

приёмник радиации в виде пластинки с чёрными и белыми полями, наподобие шахматной доски. С обратной стороны пластинки к чёрным и белым полям приклеены спаи термобатареи. Чёрные и белые поля по-разному поглощают поступающую лучистую энергию и соответственно этому чёрные поля приобретают более высокую температуру, чем белые. В результате между чёрными и белыми спаями термобатареи образуется электродвижущая сила (ЭДС), пропорциональная интенсивности радиации. Величина тока измеряется гальванометром.

Приёмник (головка) (1) устанавливается горизонтально с помощью уровня (7), который выводится на середину винтами (4). Затенитель крепится к прибору шарниром (3) и представляет собой диск диаметром 85 мм, надетый на стержень (10) длиной 485 мм. Для затенения отпускают винт (8), и стойка поворачивается стержнем к солнцу.

Рассеянную радиацию измеряют при затенённом приёмнике, а без затенения – суммарную. Отражённую радиацию определяют при положении приёмника вниз (прибор находится в перевернутом состоянии). Для определения места нуля служит специальная крышка, которая надевается на приёмник.

Пиранометр крепится на специальной стойке для измерения суммарной, рассеянной и отражённой радиации.



1 – головка; 2 – стопорная пружина; 3 – шарнир затенителя;

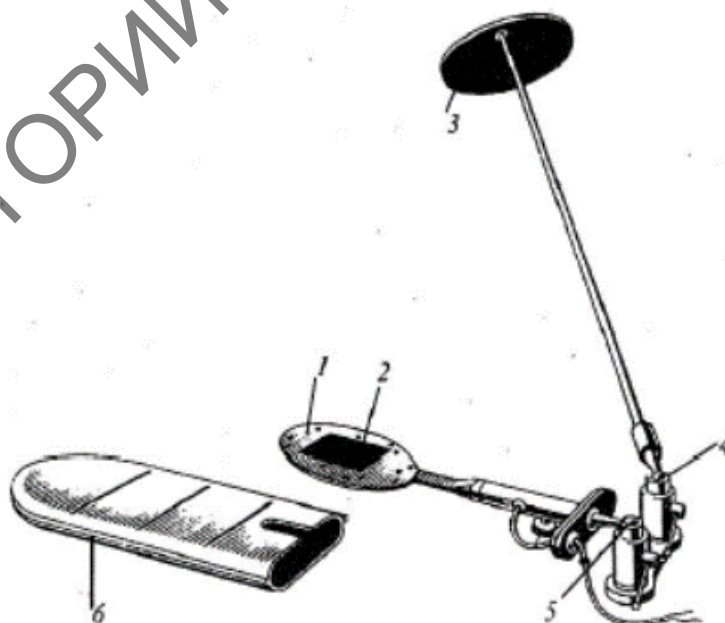
4 – установочный винт; 5 – основание;  
6 – шарнир откидного штатива; 7 – уровень; 8 – винт;  
9 – стойка; 10 – стержень затенителя

Рисунок 2.2 – Пиранометр термоэлектрический универсальный М-80М

Измерение начинают с определения места нуля, затем в трёхкратной повторности отсчитывают показания по гальванометру отдельно для суммарной радиации и отражённой. Через 1 мин снова делают три отсчёта суммарной радиации, и снова определяют место нуля. Обработку полученных измерений производят так же, как было описано ранее.

**Балансомер М-10М** служит для определения радиационного баланса земной поверхности. Балансомер (рисунок 2.3) представляет собой круглую плоскую пластину диаметром 100 мм с двумя чёрными приёмниками радиации № 1 и № 2 на противоположных сторонах. При измерении один приёмник обращён к подстилающей поверхности (вниз) и на него поступают коротковолновая отражённая радиация, длинноволновое излучение подстилающей поверхности вместе с отражённой длинноволновой радиацией, излучение окружающих предметов. Другой приёмник, обращённый вверх, получает суммарную коротковолновую солнечную радиацию вместе с длинноволновым излучением атмосферы.

Термобатареи верхнего и нижнего приёмников соединены таким образом, что создают встречные ЭДС. Ток, возникающий в результате разности ЭДС, измеряется гальванометром. Отклонение стрелки гальванометра пропорционально разности поступления энергии на верхний и нижний приёмники, т. е. радиационному балансу.



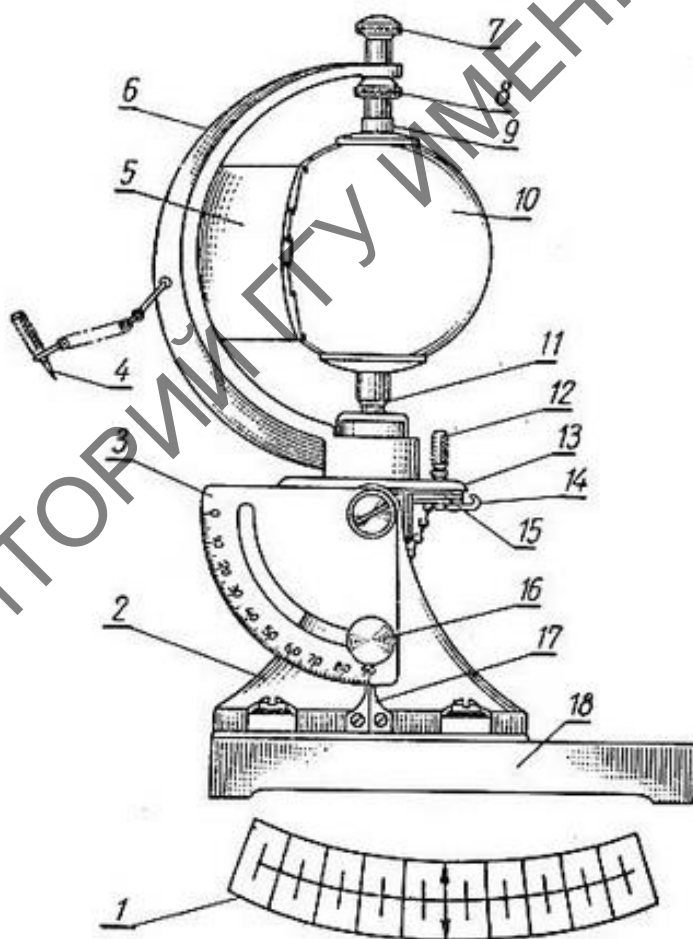
- 1 – пластина; 2 – приёмник лучистой энергии; 3 – затенитель;  
 4 – шарнирное крепление затенителя;  
 5 – шарнирное крепление балансомера; 6 – чехол

Рисунок 2.3 – Балансомер термоэлектрический М-10М

На показания балансомера некоторое влияние оказывает ветер, способствующий конвективному теплообмену между приёмниками и воздушной средой. Это влияние учитывается коэффициентом. Перед началом измерений при отключенном балансомере и зашунтированном гальванометре определяют место нуля. Во время измерений обычно делают три отсчёта по шкале гальванометра.

**Гелиограф универсальный ГУ-1** предназначен для определения продолжительности солнечного сияния (рисунок 2.4).

Гелиограф устанавливают горизонтально на открытой площадке, доступной солнечным лучам в течение всего дня, на столбе высотой не менее 2 м или на крыше здания на прочной деревянной подставке. Горизонтальность подставки проверяется уровнем.



- 1 – лента; 2 – стойка; 3 – шкала широт; 4, 12 – итифты; 5 – чашка;

6 – дугообразный держатель; 7, 16 – винты; 8 – контргайка; 9, 11 – шайбы;  
10 – стеклянный шар; 13 – диск; 14, 17 – указатели; 15 – лимб;  
18 – чугунное основание

Рисунок 2.4 – Гелиограф универсальный ГУ-1

Перед укреплением прибора на подставку его устанавливают на заданную широту (по шкале широт 3) и по меридиану. Для установки по широте места ослабляют винт (16), поворачивают верхнюю часть до совпадения заданной широты с указателем (17) и фиксируют винт (16). Для ориентировки по меридиану его устанавливают на середину подставки на юг и поворачивают основание так, чтобы фокус пучка солнечных лучей в момент истинного полдня находился на черточке чашки или полуденной линии ленты. В таком положении основание прибора закрепляют тремя винтами.

В пазы чашки закладывают бумажные ленты (1) соответственно времени года: в верхнюю пару – зимой (с 16 октября до конца февраля), в среднюю – весной и осенью (с 1 марта по 15 апреля и с 1 сентября по 15 октября), в нижнюю – летом (с 16 апреля по 31 августа). В верхние и нижние пары пазов закладывают изогнутые, а в среднюю пару – прямые ленты.

В зависимости от времени года бумажную ленту закладывают в одну из пар пазов чашки. В короткие дни, когда солнце находится над горизонтом не более 9 ч, ленту меняют после захода солнца один раз в сутки. Шар в этом случае всегда повернут на юг. При продолжительности дня от 9 до 18 ч ленту меняют два раза в сутки: первый раз после захода, второй – в 12 ч по среднему солнечному времени. Одновременно со сменой лент меняют положение шара. При вечерней смене лент шар поворачивают на восток, а при смене в полдень – на запад. Если продолжительность дня от восхода до захода солнца превышает 18 ч, смену лент и поворот шара производят три раза в сутки – в 4, 12 и 20 ч по среднему солнечному времени.

Продолжительность солнечного сияния определяют по прожогу лент гелиографа за каждый час в десятых долях часа, учитывая даже слабые следы прожога, и заносят в соответствующие таблицы. Если прожог распространяется на все деление, записывают целый час, если на половину деления, записывают 0,5 ч. Суммируют продолжительность солнечного сияния за каждый час и получают суточную продолжительность солнечного сияния. Зная количество часов солнечного сияния за отдельные дни, можно определить продолжительность солнечного сияния за любой период (декаду, месяц, вегетационный период, год).

## Определение метеорологических величин

Солнечная радиация, которая поступает на перпендикулярную поверхность непосредственно от солнечного диска, называется *прямой солнечной радиацией*  $S$ .

Энергетическая освещенность, т. е. плотность потока радиации на нормальную к лучу поверхность за пределами атмосферы при среднем расстоянии между Землей и Солнцем, называется *Солнечной постоянной*, которая равна  $S_0 = 1,353 \text{ кВт/м}^2$ , или  $1,98 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$ .

*Прямая* солнечная радиация, которая приходит на горизонтальную поверхность, рассчитывается по формуле

$$S = S_0 \sin h, \quad (2.1)$$

где  $h$  – высота солнца над горизонтом.

Радиация, которая поступает на земную поверхность от всего небесного склона, называется *рассеянной*  $D$ . Вся солнечная радиация, которая достигает земной поверхности (прямая и рассеянная), представляет собой *суммарную радиацию*  $Q$

$$Q = S' + D = S_0 \sin h + D. \quad (2.2)$$

Достигая земной поверхности, суммарная радиация частично поглощается деятельным слоем и частично отражается. Отношение отраженной от земной поверхности радиации  $R$  к общему ее количеству суммарной радиации  $Q$  называется *Альбедо*  $A$ .

Земное излучение называется *собственным излучением* земной поверхности  $E_s$ , которое в соответствии с законом Стефана Больцмана пропорционально четвертой степени ее абсолютной температуры  $T$

$$E_s = \delta \sigma T^4, \quad (2.3)$$

где  $\delta$  – относительная излучательная способность поверхности. Для черного тела она равна 1, для снега – 0,98, для сухого песка – 0,9;

$\sigma$  – постоянная Стефана Больцмана, равная  $5,65 \cdot 10^{-10} \text{ мВт}$ , или  $8,14 \cdot 10^{-11} \text{ кал}$ .

Излучение атмосферы направляется как до Земли, так и в космическое пространство. Часть длинноволнового атмосферного излучения,

которое направлено к земной поверхности, называется *встречным излучением атмосферы*  $E_a$ .

Разность между собственным излучением земной поверхности  $E_s$  и встречным излучением атмосферы  $E_a$  называется *эффективным излучением* поверхности  $E_{эф}$ .

*Радиационный баланс земной поверхности* (РБЗП) (*остаточная радиация*) – разность между поглощенной суммарной радиацией и эффективным излучением земной поверхности

$$R = (I \sin h + i)(1 - A) - E_{эф}. \quad (2.4)$$

Выражается в  $\text{кВт/м}^2$ , измеряется балансометром. РБЗП может быть положительным и отрицательным.

Закон ослабления солнечной радиации в атмосфере отражает формула Бугера

$$S_m = S_0 p^m. \quad (2.5)$$

где  $p^m$  – коэффициент прозрачности атмосферы, которая показывает ту часть  $S_1$ , взятую от солнечной постоянной  $S_0$ , что доходит до земной поверхности при нахождении Солнца в зените ( $m = 1$ )

$$p = \frac{S_1}{S_0}, \quad (2.6)$$

где  $S_1$  – прямая солнечная радиация возле земной поверхности после прохождения солнечными лучами одной массы атмосферы  $m$ . Масса атмосферы  $m = 1$ , когда Солнце находится в зените;

$S_0$  – солнечная постоянная, или интенсивность солнечной радиации на верхней границе земной атмосферы.  $S_0 = 1,367 \text{ кВт/м}^2$ .

## **Задачи для самостоятельной работы**

*При решении задач используйте справочный материал, размещенный в Приложении А.*



1. Рассчитать радиационный баланс действенного слоя чистого сухого снега, когда суммарная радиация равна  $0,25 \text{ кВт/м}^2$ , температура поверхности и воздуха – минус  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2. Рассчитать радиационный баланс деятельного слоя сухой травы, когда суммарная радиация равна  $0,95 \text{ кВт/м}^2$ , температура поверхности  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , а температура воздуха – минус  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ .

3. Определить радиационный баланс деятельной поверхности, если поглощённая часть коротковолновой радиации равна  $0,05 \text{ кВт/м}^2$ , а эффективное излучение –  $0,09 \text{ кВт/м}^2$ . Какое значение имеет знак ответа?

4. Вычислить радиационный баланс деятельной поверхности (покрытой сухой травой) на площадке, перпендикулярной солнечным лучам, если величина прямой солнечной радиации равна  $1,2 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$ , рассеянной –  $0,22 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$ , эффективное излучение составляет  $0,14 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$ .

5. Вычислить радиационный баланс деятельной поверхности  $B$ , когда известна величина прямой солнечной радиации на перпендикулярную поверхность  $S$  ( $\text{МДж/м}^2$ ), рассеянной радиации  $D$  ( $\text{МДж/м}^2$ ) и эффективного излучения  $E_e$  ( $\text{МДж/м}^2$ ), альбедо поверхности  $A$  (%), высота солнца  $h$ . Вариант задания в таблице 2.1.

6. Определить по формуле Бугера величину интенсивности солнечной радиации  $S_m$ , если высота солнца  $h$ , коэффициент прозрачности  $p$ , а масса атмосферы  $m$ . Варианты задания представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Варианты задачи 5

№ варианта	$S$	$D$	$E_e$	Цвет поверхности	$A$	Высота солнца, в град.
0	42,3	22,3	4,1	Темный	10	90
1	40,5	20,4	4,4	Темный	15	85
2	39,4	19,3	5,2	Светлый	25	80
3	42,6	22,5	3,3	Светлый	27	77
4	38,7	18,6	2,9	Светлый	29	75
5	39,1	19,0	3,4	Светлый	32	70
6	37,8	17,9	3,1	Зеленый	25	65
7	35,9	15,8	2,8	Зеленый	26	60
8	33,2	13,2	4,9	Влажная	20	55
9	34,4	14,5	3,4	Сухая	25	50
10	25,5	15,6	3,8	Чернозем	14	45
11	27,6	17,7	2,1	Чернозем	12	40
12	22,9	18,8	1,1	Торфяник	9	35

13	23,1	25,2	1,8	Торфяник	10	30
14	28,3	29,4	2,3	Море	5	20
15	24,4	23,6	3,8	Море	7	10
16	11,9	21,9	4,1	Тайга	18	15
17	19,0	23,4	4,5	Снег	90	25
18	20,5	24,1	3,4	Снег	80	35

Таблица 2.2 – Варианты задачи б

№ варианта	$S_1$ , кВт/м <sup>2</sup>	%h	$m$	№ варианта	$S_1$ , кВт/м <sup>2</sup>	%h	$m$
0	1,300	0	34,40	10	1,252	50	1,30
1	1,298	1	25,96	11	1,243	55	1,23
2	1,296	3	15,36	12	1,234	60	1,15
3	1,294	5	10,40	13	1,245	65	1,10
4	1,292	10	5,60	14	1,236	70	1,06
5	1,290	20	2,90	15	1,225	75	1,04
6	1,285	30	2,00	16	1,214	80	1,02
7	1,280	35	1,78	17	1,203	85	1,01
8	1,270	40	1,55	18	1,192	90	1,00
9	1,261	45	1,43				

## Задания для практической работы

1. Используя данные атласа, на контурную карту мира нанести изолинии годовых величин радиационного баланса с интервалом значений 840 МДж/м<sup>2</sup>·год (20 ккал/см<sup>2</sup>·год). Изолинии подписать не менее двух раз на протяжении каждой из них так, чтобы подписанные значения образовали вертикальный ряд значений. Выделить на карте (цветом или штриховкой) территории, отличающиеся наибольшими и наименьшими значениями радиационного баланса.

2. Используя данные атласа, на контурную карту мира нанести изолинии годовых величин суммарной солнечной радиации с интервалом значений, который равен 840 МДж/м<sup>2</sup>·год (20 ккал/см<sup>2</sup>·год). Значения суммарной солнечной радиации подписать не менее двух раз на протяжении каждой изолинии так, чтобы они образовали вертикальный ряд значений. Выделить (цветом или штриховкой) территории наибольшего и наименьшего поступления суммарной солнечной радиации.

Сравнить построенные карты «Радиационный баланс» и «Суммарная солнечная радиация», записать результаты сравнения в тетрадь.

3. Вычертить в тетради схемы приборов для определения солнечной радиации, описать их устройство и принцип действия.

### Контрольные вопросы

1. Какие виды солнечной радиации вы знаете?
2. Что такое солнечная постоянная и чему она равна?
3. В каких единицах выражается солнечная радиация и радиационный баланс?
4. Как с помощью актинометра можно измерить прямую солнечную радиацию?
5. Как с помощью пиранометра можно получить прямую солнечную радиацию?
6. Что измеряют балансомером Янишевского?
7. Как устанавливают гелиограф и ленту гелиографа?
8. Что называется радиационным балансом?
9. В чём заключаются общие закономерности изменения радиационного баланса поверхности Земли и суммарной радиации? Как их можно объяснить?
10. Как изменяются значения радиационного баланса земной поверхности зимой и летом?
11. В чём заключаются общие закономерности в распределении суммарной солнечной радиации, поступающей к земной поверхности? Как их можно объяснить?

### 3. АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

**Цель:** изучить устройство и принципы действия метеорологических приборов для измерения атмосферного давления, научиться рассчитывать основные показатели.

*Атмосферное давление* – это сила, с которой давит на единицу земной поверхности ( $\text{см}^2$ ,  $\text{м}^2$ ) столб воздуха, расположенный от поверхности земли до верхней границы атмосферы.

Атмосферное давление является одной из важнейших метеорологических величин. Изменение атмосферного давления во времени отражает прохождение атмосферных фронтов, циклонов, антициклонов и т. д., а изменение давления по горизонтали является непосредственной причиной движения воздуха. Давление уменьшается с увеличением высоты. На высоте 5 000 м атмосферное давление примерно в 2 раза меньше, чем на уровне моря.

Единицей измерения атмосферного давления в системе СИ является гектопаскаль (гПа).  $1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}$ . Давление, равное силе в 1 ньютон, которая действует на площадь  $1 \text{ м}^2$  – 1 Па ( $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ ). Кроме того, в метеорологии используются единицы давления – миллибар (мб) и миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.). Давление, равное силе 1 000 дин, которое действует на площадь в  $1 \text{ см}^2$ , – 1 мб. Миллиметр ртутного столба – это изменение атмосферного давления, которое соответствует повышению или понижению ртутного столба в барометре на 1 мм. Соотношения между приведенными единицами следующие:

$$\begin{aligned} 1 \text{ гПа} &= 1 \text{ мб} = 0,75 \text{ мм рт. ст.}; \\ 1 \text{ мм рт. ст.} &= 1,33 \text{ гПа} = 1,33 \text{ мб}. \end{aligned}$$

Давление воздуха при температуре  $0^\circ \text{C}$  на уровне моря и широте  $45^\circ$  северного полушария равно 1 013 гПа, или 760 мм рт. ст. Это давление называется нормальным, или стандартным ( $760 \text{ мм рт. ст.} = 1013 \text{ гПа}$ ).

## Метеорологические приборы

Для измерения атмосферного давления наибольшее распространение имеют ртутные барометры и барометры-анероиды, а для непрерывной регистрации изменения давления – барографы.

**Ртутный чашечный барометр** (рисунок 3.1) состоит из двух основных частей: стеклянной трубки (1) и пластмассовой чашки (2), заполненной ртутью.

Стеклянная трубка опущена открытым концом в чашку. Верхний конец трубки запаян. Чтобы воздух не попал в трубку, ее перед опусканием в чашку наполняют ртутью доверху. Чашка состоит из трех свинчивающихся частей. В верхней части (3), помимо отверстия для стеклянной трубки, имеется еще маленькое отверстие для сообщения ртути, находящейся в чашке, с атмосферным воздухом. Для предохранения

ртути от загрязнения это отверстие закрывается винтом (4) с кожаной шайбой.

В средней части чашки имеется диафрагма с круглыми отверстиями.

Диафрагма, занимая некоторый объем, дает возможность наливать в чашку меньше ртути, а также предохраняет ртуть от сильных колебаний и от попадания воздуха в стеклянную трубку при переноске прибора. При сборке прибора стеклянную трубку и чашку заполняют дистиллированной ртутью.

Стеклянная трубка окружена латунной защитной оправой (6), на которой имеются приспособления для отсчетов. В нижней части оправы укреплен термометр (7) для отсчета температуры прибора. В верхней части оправы имеется сквозная прорезь, позволяющая видеть мениск ртутного столба в стеклянной трубке. С левой стороны нанесена шкала (8) с пределами измерений от 680 до 1 110 гПа. Вдоль стеклянной трубки с помощью кремальеры (9) перемещается кольцо с укрепленным на нем нониусом (10), который служит индексом для наводки на мениск ртутного столба и для отсчета десятых долей. Десять делений нониуса равны девяти делениям основной шкалы. В верхней части оправы имеется кольцо (5) для подвешивания барометра.

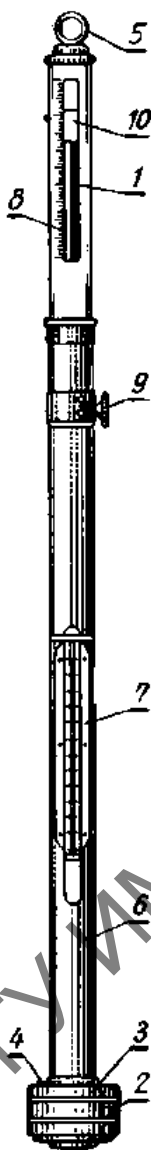


Рисунок 3.1 – Ртутный чашечный барометр

При отсчетах давления нониус подводят сверху до момента, пока не произойдет касание его нижнего среза верхней части мениска ртути в трубке. Отсчеты показаний барометра и термометра делают с точностью до 0,1 гПа и 0,1 °С. Целые гПа отсчитывают по нижнему обрезу нониуса, а десятые – по нониусу. Деление нониуса, совпадающее с делением основной шкалы, показывает число десятых долей шкалы.

Давление столба ртути барометра высотой  $H$  уравнивается атмосферным давлением  $p$ , которое воздействует на поверхность ртути в чашке барометра и определяется по формуле

$$p = \rho g H, \quad (3.1)$$

где  $\rho$  – плотность ртути,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $g$  – ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ .

Величины  $\rho$  и  $g$  характеризуются изменчивостью. Они зависят от температуры, широты и высоты места. Поэтому их необходимо привести к нормальным (стандартным) условиям путем введения соответствующих поправок.

К отсчетам по барометру вводятся следующие поправки: инструментальная, температурная, на ускорение силы тяжести.

*Инструментальная поправка* зависит от качества барометра. Эта поправка приведена в поверочном свидетельстве (сертификате), что прилагается к барометру. Она находится путем сравнения данного прибора с эталоном.

*Поправка на температуру* определяется на основе зависимости плотности ртути  $\rho$  от температуры. При увеличении температуры ртуть расширяется, плотность ее уменьшается, и высота ртутного столба становится завышенной. Поэтому показания барометра приводят к температуре  $0\text{ }^\circ\text{C}$  (Приложение Б). При положительных температурах поправку следует отнимать от отсчета по барометру, а при отрицательных – прибавлять.

*Поправка на ускорение силы тяжести* зависит от широты и высоты места над уровнем моря. Для сопоставления данных, полученных на разных широтах и высоте над уровнем моря, их приводят до стандартного ускорения силы тяжести, принятого на широте  $45^\circ$  и уровне моря. Поправка на ускорение силы тяжести будет положительной в высоких широтах ( $45\text{--}70^\circ$ ) и отрицательной – в низких ( $20\text{--}45^\circ$ ) (Приложение Б). В зависимости от высоты над уровнем моря эта поправка будет отрицательной на всех высотах выше уровня моря (Приложение Б).

**Барометр-анероид.** Он относится к деформационным барометрам, основанным на зависимости упругой деформации приёмника под воздействием атмосферного давления. Приёмником, который воспринимает изменение атмосферного давления, служит анероидная коробка (1), состоящая из двух спаянных между собой гофрированных мембран (рисунок 3.2).

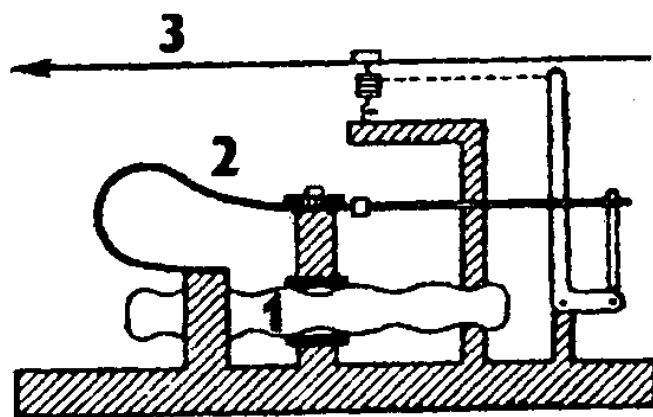


Рисунок 3.2 – Схема барометра-анероида

Воздух из коробки откачен. Наружное атмосферное давление направлено на сжатие коробки, но пружина (2) уравнивает стенки коробки в растянутом положении. В результате этого крышка коробки способна к деформациям в зависимости от изменения атмосферного давления. Колебания крышки коробки усиливаются специальной системой подвижных рычагов и передаются на стрелку (3), которая перемещается вдоль шкалы с делениями. К шкале анероида прикреплен термометр для измерения температуры прибора. Механизм анероида помещается в пластмассовый кожух.

Анероид устанавливают в горизонтальное положение. При наблюдениях по анероиду вначале отсчитывают температуру по термометру при анероиде с точностью до  $0,1^{\circ}$ . После этого, слегка постучав по стеклу анероида для преодоления трения в передающей части, отсчитывают положение стрелки относительно шкалы с точностью до 0,1 единиц измерения.

В показания анероида вводятся три поправки: на шкалу, на температуру, добавочная.

*Поправка на шкалу* учитывает инструментальные неточности и особенности в передаточном механизме. В поверочном свидетельстве поправка на шкалу приведена через 10 мм показания прибора. Промежуточные значения поправок определяют путем интерполяции.

При *поправке на температуру* при одном и том же атмосферном давлении, но разной температуре показания анероида могут быть разными, так как с изменением температуры упругость пружины и мембранной коробки не остается постоянной. Поэтому показания анероидов приводятся к температуре  $0^{\circ}$ . В поверочном свидетельстве дается величина поправки при изменении температуры на  $1^{\circ}$  ( $\Delta p'$ ). Для приведения показаний анерои-



дов к 0° необходимо указанную поправку умножить на температуру прибора.

*Добавочная поправка* учитывает остаточную деформацию коробки и пружины. Эта поправка меняется во времени. Поэтому в поправочном свидетельстве указывается дата ее определения. Добавочную поправку рекомендуется определять периодически.

Для введения добавочной поправки необходимо произвести серию (5–6) одновременных отсчетов по ртутному чашечному барометру и анероиду. Средняя разница между показаниями барометра с учетом всех поправок и анероида с двумя поправками (на температуру и шкалу) и будет добавочной поправкой к анероиду.

**Барограф** применяется для непрерывной регистрации изменений атмосферного давления. Он состоит из трех частей: приемной (1); передающей (2); регистрирующей (3) (рисунок 3.3).

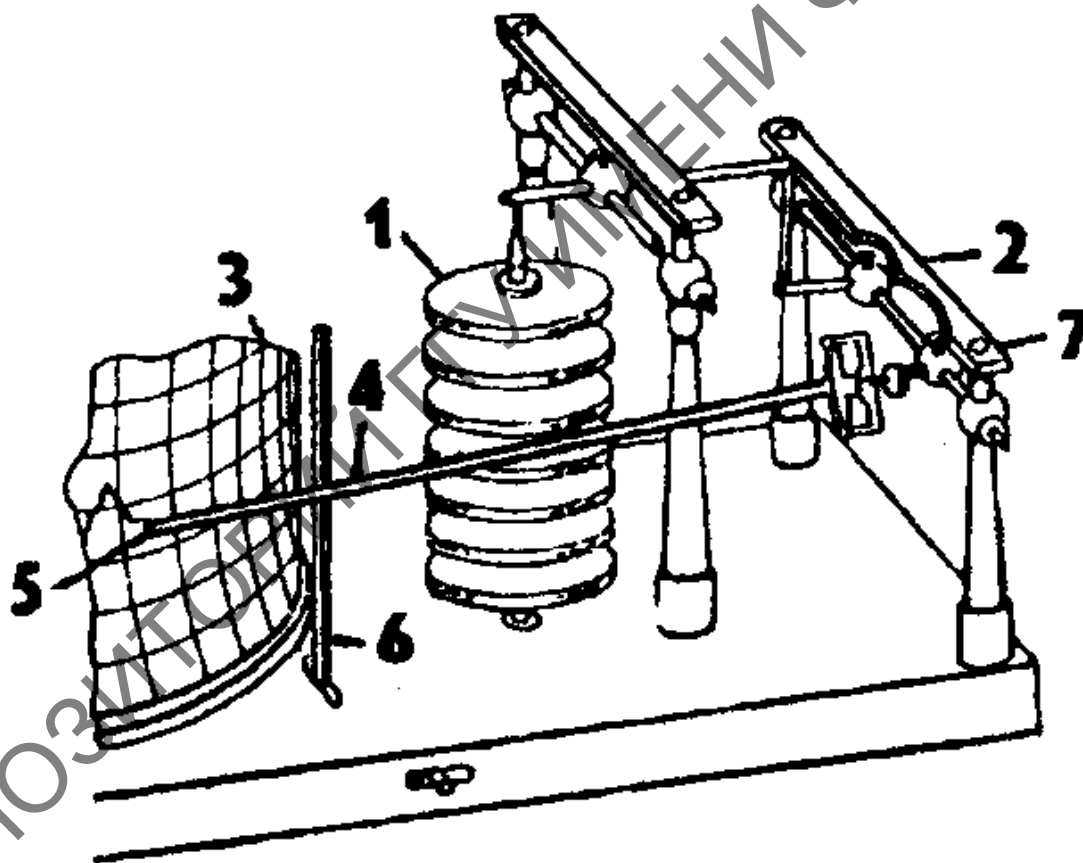


Рисунок 3.3 – Устройство барографа

Приемной частью, которая реагирует на изменение атмосферного давления, является несколько анероидных коробочек, которые соединены вместе. Воздух из коробочек откачен, чтобы они не сжимались под воз-

действием атмосферного давления. В середине каждой коробки содержится пружина в виде рессоры. При увеличении атмосферного давления коробки сжимаются, а при уменьшении – растягиваются. Чувствительность анероидных коробок зависит от изменений температуры. Для исключения влияния температуры на показания барографа используется биметаллический термокомпенсатор.

Колебания анероидных коробок, обусловленные изменением атмосферного давления, усиливаются передаточным механизмом и через систему рычагов передаются на стрелку (4) с пером (5), которое заполняется специальными чернилами.

Регистрирующей частью барографа является барабан (3) с часовым механизмом внутри. На барабан надевается бумажная лента с делениями. На ленте барографа горизонтальные линии соответствуют атмосферному давлению в гПа, а вертикальные дуги – времени.

Зажим (6) позволяет отводить стрелку с пером от барабана в сроки замены ленты. Показания барографа контролируются данными ртутного барометра. Для этого в сроки наблюдений на ленте барографа делается засечка при помощи кнопки (7). Барографы в зависимости от скорости хода часового механизма бывают суточные и недельные. Обработка ленты суточного барографа осуществляется так же, как и термографа.

## Определение метеорологических величин

*Изменение атмосферного давления с высотой и по горизонтали.* Закономерность изменения атмосферного давления с высотой (для небольшой разности высот между двумя уровнями  $H \leq 1\ 000$  м) можно определить, используя приближенную формулу Бабинэ

$$H = 8000 \frac{2(p_1 - p_2) \left( 1 + \alpha \frac{t_1 + t_2}{2} \right)}{p_1 + p_2}, \quad (3.2)$$

где  $H$  – разность высот двух уровней или превышение одного пункта над другим, м;

$p_1, p_2$  – давление воздуха соответственно на нижнем и верхнем уровнях, гПа;

$t_1$  и  $t_2$  – измеренная температура воздуха соответственно на нижнем и верхнем уровнях, °С;

$\alpha$  – объемный коэффициент теплового расширения воздуха ( $\alpha = 0,00366 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

Изменение атмосферного давления с высотой характеризуется барической (барометрической) ступенью  $h$ .

*Барической ступенью* называется высота, на которую необходимо подняться или опуститься, чтобы давление изменилось на единицу его измерения (м/гПа).

Барическая ступень вычисляется по упрощенной зависимости Бабинэ, которая получена после преобразований формулы (3.2)

$$h = \frac{8000(1 + \alpha \cdot t)}{p_{\text{ст}}}, \quad (3.3)$$

где  $t$  и  $p_{\text{ст}}$  – соответственно температура (°С) и давление (гПа) воздуха в точке, для которой вычисляется барическая ступень.

Вертикальным градиентом температуры  $\gamma$  называется изменение температуры воздуха на 100 м поднятия.

Для тропосферы  $\gamma = 0,65 \text{ } ^\circ\text{C}/100 \text{ м}$ .

Поэтому, зная температуру воздуха  $t$  на высоте  $H$  и градиент температуры  $\gamma$ , можно определить температуру воздуха на высоте уровня моря  $t_0$ .

*Горизонтальным барическим градиентом (ГБГ)* называют изменение давления вдоль горизонтали, направленной перпендикулярно к изобарам от высокого давления в сторону низкого, приходящееся на расстояние 100 км. Формула для вычисления ГБГ имеет следующий вид:

$$\text{ГБГ} = \frac{\Delta p}{\Delta n} \cdot 100, \quad (3.4)$$

где  $\text{ГБГ}$  – горизонтальный барический градиент, гПа/100 км;

$\Delta p$  – изменение давления, гПа;

$\Delta n$  – расстояние по горизонтали, на котором изменяется давление,

км.

## Задачи для самостоятельной работы

*При решении задач используйте справочный материал, размещенный в Приложении Б.*

1. Перевести в гПа следующие значения давления: 723,5; 749,4 и 792,2 мм рт. ст.

2. Перевести в мм рт. ст. следующие значения давления: 956,4; 989,7 и 1045,8 гПа.

3. У поверхности земли в точке *A* температура – 12 °С, давление – 980 мб. В точке *B* температура – 8 °С, давление – 960 мб. Найти превышение точки *B* над точкой *A*.

4. При проведении барометрического нивелирования в горном районе атмосферное давление на уровне моря равно 978 гПа при температуре +6 °С, на вершине горы давление – 922 гПа при температуре +8 °С. Определить высоту горы.

5. При входе в слоисто-кучевое облако определилось давление, равное 910 гПа, и температура +3 °С, а при выходе из облака давление уменьшилось на 55 гПа, температура снизилась на +2 °С. Определить вертикальную мощность облака.

6. На метеорологической станции наблюдалось давление 1031 гПа при температуре +13,5 °С. В это время на радиозонде над станцией приборы определяли давление 947 гПа и температуру +8,5 °С. На какой высоте находился радиозонд?

7. На метеорологической станции атмосферное давление 980 гПа, а температура воздуха –10 °С. Определить давление на высоте 600 м, где температура –20 °С.

8. В момент запуска радиозонда возле поверхности земли давление равнялось 1 013,4 гПа, а температура +22,5 °С. При входе радиозонда в кучевое облако определялось давление 940,6 гПа и температура +18,7 °С. Какая высота нижней границы облака?

9. На вершине горы Лысая (высота 342 м) Минской возвышенности атмосферное давление равно 990 гПа, а температура воздуха +8 °С. Определить давление на уровне моря.

## Задания для практической работы

1. Ознакомиться с принципами действия приборов. Вычертить их схемы. Описать устройство.

2. Нанести на контурную карту изобары распределения атмосферного давления в январе и июле. В тетради сделать вывод, от чего зависит распределение атмосферного давления в разные сезоны года.

## Контрольные вопросы

1. Что называется атмосферным давлением?
2. Какие единицы измерения имеет атмосферное давление?
3. Как устроен ртутный чашечный барометр?
4. Каков принцип действия барометра-анероида?
5. Как устроен барограф?
6. Какие поправки применяют к показаниям, снятым с ртутного чашечного барометра и барометра-анероида?
7. Что называют барической ступенью и горизонтальным барическим градиентом?

## 4. ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА И ПОЧВЫ

**Цель:** изучить устройство и принципы действия метеорологических приборов для измерения температуры, научиться переводить температуру в различные шкалы, рассчитывать изменение температуры при адиабатических процессах.

На метеорологических станциях измеряют температуру воздуха, почвы, воды и снега. Температура является одной из основных характеристик погоды и климата. Для измерения температуры используют различные типы термометров: жидкостные, термоэлектрические, деформационные и электротермометры сопротивления.

**Жидкостные термометры.** Принцип действия жидкостных термометров основан на изменении объема жидкости в зависимости от повышения или понижения температуры. В качестве жидкости в таких термометрах используется ртуть, спирт и толуол. По своему строению жидкостные термометры делятся на два типа: со вставной шкалой и палочные. В последнем термометре шкала нанесена непосредственно на наружную сторону капиллярной трубки. Отсчеты во всех термометрах делают с точностью 0,1 °С.

Температура по Международной практической шкале (МПШ) выражается в градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ). Интервал между точками плавления льда ( $0^{\circ}\text{C}$ ) и кипения воды ( $100^{\circ}\text{C}$ ) разделен на 100 равных частей;  $1/100$  часть соответствует  $1^{\circ}\text{C}$ . Для оценки термодинамического состояния атмосферы используется термодинамическая температурная шкала (ТТШ) Кельвина ( $TK$ ). Шкалы отличаются одна от другой началом отсчета. Переход от практической шкалы к термодинамической шкале Кельвина выражается следующим уравнением:

$$TK = 273,2^{\circ} + t^{\circ}\text{C}. \quad (4.1)$$

**Измерение температуры почвы.** На метеорологических станциях наблюдения за температурой почвы осуществляются как на поверхности почвы, так и на различных глубинах. Для этого выбирают площадку размером  $4 \times 6$  м, которую очищают от травяного покрова, а почву взрыхляют.

Для измерения температуры поверхности почвы и снежного покрова используют срочный, максимальный и минимальный термометры. Термометры устанавливают в середине оголенной площадки на расстоянии  $5-6$  см один от другого резервуарами на восток в приведенной ниже последовательности: первый с севера – срочный для измерения температуры поверхности почвы и снежного покрова, второй – минимальный, третий – максимальный. Срочный и минимальный термометры необходимо положить на поверхность строго горизонтально, а максимальный – с небольшим наклоном в сторону резервуара. Термометры должны лежать на почве таким образом, чтобы их резервуары и наружная оболочка были наполовину заглублены в почву.

**Срочный термометр** применяется для измерения температуры поверхности почвы и снежного покрова в данный момент (сроки наблюдений). Это ртутный термометр с цилиндрическим резервуаром. Он имеет вставную шкалу с ценой деления  $0,5^{\circ}$ .

**Минимальный термометр** применяют для измерения самой низкой температуры за период между сроками наблюдений. Это термометр спиртовой с ценой деления  $0,5^{\circ}$ , со вставной шкалой и цилиндрическим резервуаром. Минимальные показания термометра определяются по легкому штифтику (1) (рисунок 4.1), изготовленному из темного стекла с утолщениями на концах. При подъеме резервуара термометра штифтик свободно перемещается в спирте, но не выходит из него, так как

благодаря своей легкости не может прорвать поверхностную пленку (2), ограничивающую мениск спирта.

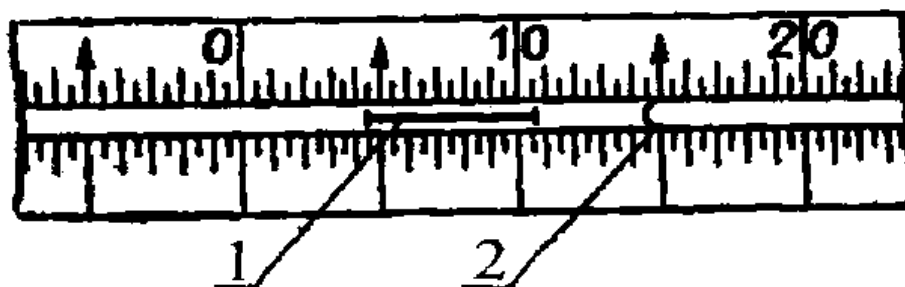


Рисунок 4.1 – Приспособление для отсчета минимальной температуры

Штифтик подобран таким образом, что силы трения его о стенки капилляра больше силы расширения спирта и меньше силы поверхностного натяжения спирта. Поэтому при повышении температуры спирт, расширяясь, свободно обтекает штифт, а при понижении температуры, как только поверхностная пленка дойдет до штифтика, последний перемещается этой пленкой в сторону резервуара. Двигается он до тех пор, пока температура понижается. При повышении температуры движение его прекращается. Положение конца штифта, который наиболее удален от резервуара, показывает по шкале минимальную температуру, а мениск спирта – температуру в данный срок измерения. Для приведения минимального термометра в рабочее положение резервуар термометра приподнимают вверх и держат до тех пор, пока штифт не соприкоснется с мениском спирта.

**Максимальный термометр** служит для измерения самой высокой (максимальной) температуры за период между сроками наблюдений. Это ртутный термометр с цилиндрическим резервуаром и вставной шкалой. Цена деления шкалы  $0,5^\circ$ . Показания максимальных значений температуры этим термометром сохраняются благодаря стеклянному штифту (2), который впаивается в дно резервуара (1) (рисунок 4.2).

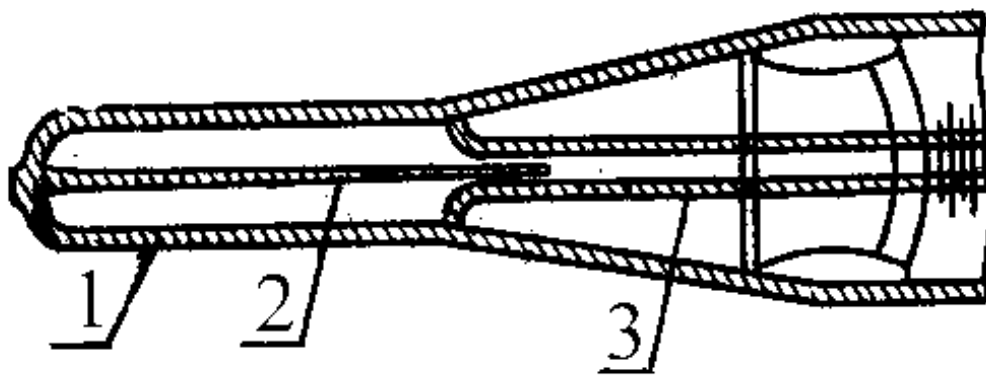


Рисунок 4.2 – Приспособление для сохранения максимальных показаний термометра

Верхний конец штифта (2) входит в капилляр (3). В результате этого выход из резервуара в капилляр очень сужен. При повышении температуры ртуть в резервуаре расширяется и поднимается по капилляру, так как силы расширения ртути больше сил трения в месте сужения. При понижении температуры ртуть начинает уменьшаться в объеме, однако находящееся в капилляре вещество не может вернуться в резервуар, так как силы трения в месте сужения значительно превышают силы сцепления ртути. Столбик ртути, который останется в капилляре, показывает максимальную температуру за определенный промежуток времени.

После отсчета максимальный термометр необходимо встряхнуть несколько раз сильными, но плавными движениями руки. После встряхивания показания максимального термометра должны быть близкими к показаниям срочного.

Для измерения температуры почвы на различных глубинах применяют ртутные коленчатые термометры Савинова и вытяжные термометры.

**Ртутные коленчатые термометры Савинова** служат для измерения температуры почвы на глубинах 5, 10, 15 и 20 см (пахотный слой). Это комплект из четырех термометров, которые имеют вставную шкалу с ценой деления  $0,5^\circ$ . Резервуары термометров цилиндрические. Резервуар термометров изогнут под углом  $135^\circ$ . Капилляр от резервуара до начала шкалы изолирован термоизоляционным материалом. Термоизоляция уменьшает влияние конвективных токов воздуха в стеклянной оболочке, которые могут возникнуть вследствие разницы температуры почвы на различных глубинах.

Термометры Савинова устанавливают на одной площадке с термометрами для измерения температуры поверхности почвы в направлении с востока на запад. Их устанавливают весной после оттаивания



почвы и убирают осенью. Для установки каждого коленчатого термометра выкапывают траншею в виде трапеции ABCD (рисунок 4.3).

Северная сторона АВ траншеи отвесная. В ней в углубления, параллельно поверхности почвы, вставляют резервуары термометров по мере возрастания глубины. После установки необходимо проверить угол наклона выступающей части термометра к поверхности почвы. Этот угол должен быть равен  $45^\circ$ . Затем траншею засыпают землей, сохраняя последовательность вынутых пластов.

В сроки измерений наблюдатель становится с северной стороны и последовательно снимает показания, начиная с термометра, который установлен на глубине 5 см.

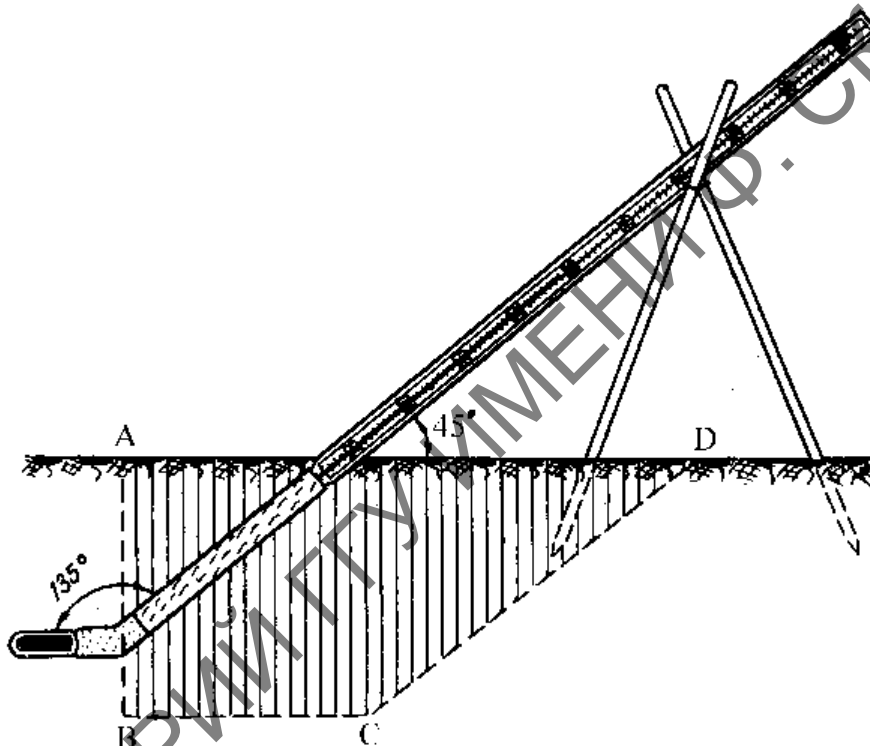


Рисунок 4.3 – Установка почвенных коленчатых термометров Савинова

**Вытяжные ртутные термометры** служат для измерения температуры почвы на глубинах 20, 40, 60, 80, 120, 160, 240 и 320 см. Они имеют цену деления  $0,2^\circ$ .

С целью уменьшения влияния внешней среды в момент отсчета термометр (1) вмонтирован в специальную оправу (2) с металлическим колпачком (3) (рисунок 4.4). Для лучшего теплового контакта и увеличения инерции термометра пространство между резервуаром термометра и стенками колпачка заполнено медными опилками. Оправа с термометром крепится на деревянной штанге (4), длина которой зависит от глубины уста-

новки термометра. Штанга заканчивается колпачком (5) с кольцом (6), которым вынимают термометр из почвы.

Вытяжные термометры опускают в пластмассовые или эбонитовые трубки (7), погруженные в почву на необходимую глубину и имеющие на нижнем конце металлические наконечники (8). Термометр воспринимает температуру только того слоя почвы, на котором находится металлический наконечник.

Вытяжные термометры размещают на открытом месте с естественным покровом. С помощью бура делают скважины нужной глубины и в них устанавливают трубы (7) в один ряд через каждые 50 см в направлении с востока на запад. Трубы должны выступать над поверхностью почвы на 40...50 см во избежание заноса их снегом в зимний период. После установки труб в них опускают термометры. Чтобы почва вокруг термометров не уплотнялась, отсчет по ним производят со специального помоста, расположенного с северной стороны термометров.

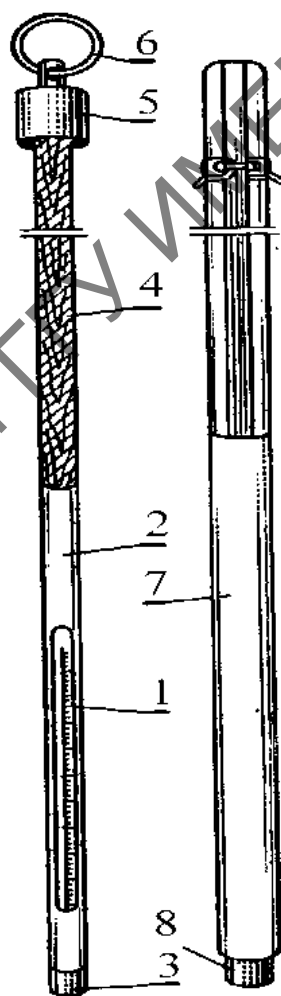


Рисунок 4.4 – Термометр вытяжной

В сроки наблюдений термометры по очереди, начиная с наименьшей глубины, достают из трубки (7) за кольцо (6) и снимают отсчеты температуры. После этого термометр опускается в трубку. Наблюдения по термометрам на глубинах 60, 80, 120, 160, 320 см проводят на протяжении года один раз в сутки днем, а на глубинах 20 и 40 см – во все сроки наблюдений.

**Измерение температуры воздуха.** На метеорологических станциях для измерения температуры воздуха применяются термометры: психрометрический (срочный), максимальный и минимальный. Для непрерывной регистрации температуры воздуха служит термограф.

**Психрометрический термометр.** Температуру воздуха измеряют при помощи сухого термометра, который является частью психрометра, и в свою очередь предназначен для измерения влажности воздуха. Наиболее широкое применение получили два типа психрометров – стационарные и аспирационные.

*Психрометрический термометр* – ртутный термометр с шаровидным резервуаром и металлическим колпачком в верхней части с ценой деления  $0,2^{\circ}$ . Стационарный психрометр устанавливают в психрометрической будке (1) (рисунок 4.5).

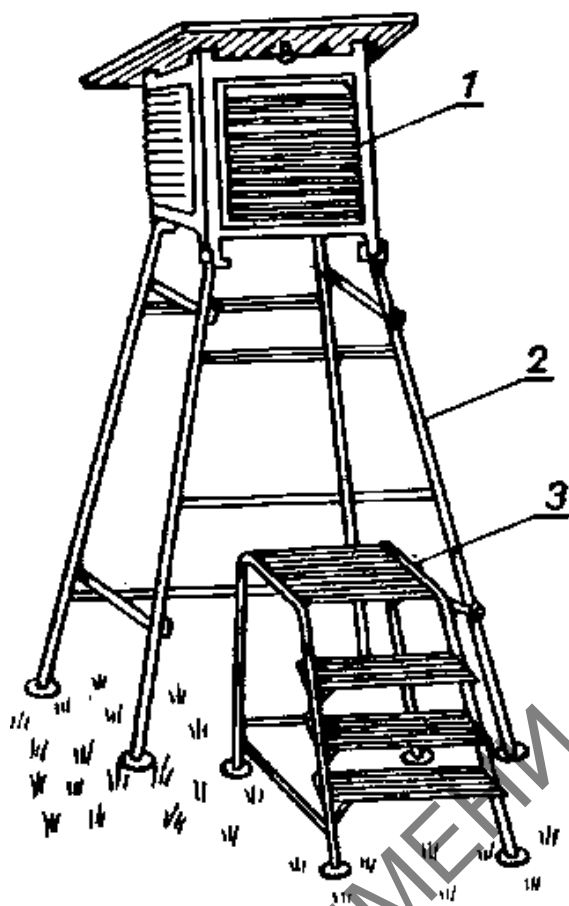


Рисунок 4.5 – Психрометрическая будка

Стенки психрометрической будки состоят из двойных жалюзи, расположенных одна над другой под углом  $45^\circ$  к горизонту. Жалюзийные стенки защищают термометры от прямого попадания солнечных лучей и вместе с тем не препятствуют свободному доступу воздуха. Будка ориентируется дверцей на север, чтобы во время отсчетов на термометры не падали солнечные лучи, и укрепляется на подставке (2) высотой 175 см. Для удобства отсчетов около будки устанавливают лесенку (3).

Внутри будки имеется штатив (6) (рисунок 4.6), на котором крепятся вертикально два психрометрических термометра: слева – сухой (1), по которому определяют температуру воздуха, справа – смоченный (2). Максимальный (4) и минимальный (5) термометры располагают резервуарами к востоку на особые дугообразные лапки, прикрепленные к нижней перекладине штатива, причем максимальный термометр устанавливают в верхней паре лапок, а минимальный – в нижней паре лапок горизонтально.

После отсчета температуры максимальный термометр встряхивают и повторно делают второй отсчет. Штифтик минимального термометра подводят к мениску спирта.

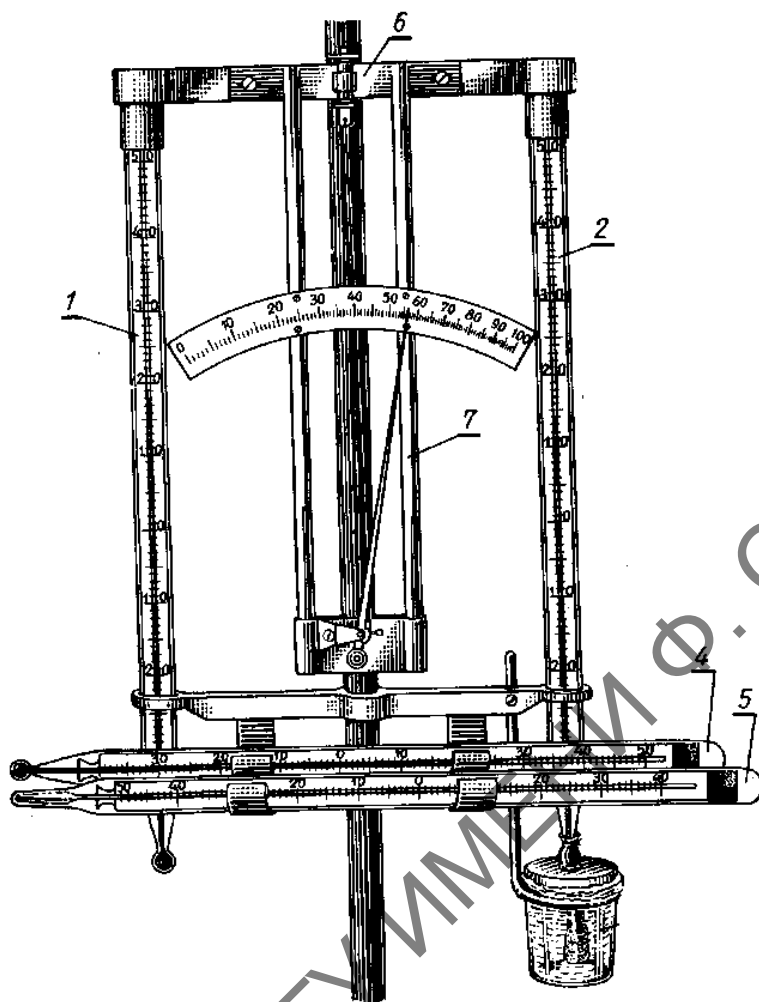


Рисунок 4.6 – Установка термометров в психрометрической будке

**Термограф.** Термограф служит для непрерывной записи изменений температуры воздуха на протяжении суток или недели. Поэтому термографы бывают суточные и недельные. Он состоит из трех основных частей: приемной, передающей и регистрирующей (рисунок 4.7).

Приёмником термографа является биметаллическая пластинка (1), изготовленная из металлов с различным термическим коэффициентом линейного расширения. В результате этого биметаллическая пластинка изгибается пропорционально изменению температуры. Один конец биметаллической пластинки закреплен неподвижно к колодке (2), а второй – перемещается. К свободному концу биметаллической пластинки прикреплен рычаг (3), который соединен тягой (4) с рычагом (5) коленчатого вала. Вторым рычагом коленчатого вала является стрелка (6), заканчивающаяся пером, которое касается ленты барабана (7). Перо заполняется специальными чернилами с примесью глицерина.

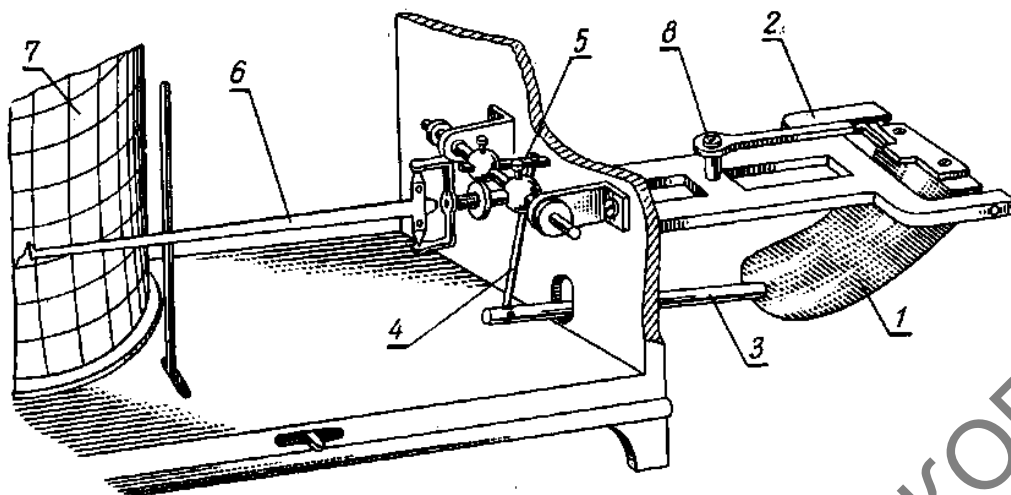


Рисунок 4.7 – Термограф биметаллический

Барaban вращается при помощи часового механизма вокруг оси, а перо, касаясь бумажной ленты, вычерчивает на ней график, который соответствует изменениям температуры воздуха.

Регистрирующая часть термографа – барабан (7) с часовым механизмом внутри. Благодаря часовому механизму барабан вращается вокруг неподвижной оси, укрепленной на основании корпуса. В зависимости от скорости вращения барабана термографы делятся на суточные и недельные.

Часовые механизмы бывают двух типов: суточные (продолжительность одного оборота барабана – 26 ч) и недельные (продолжительность одного оборота барабана – 176 ч). Бумажная лента термографа расчерчена прямыми горизонтальными и вертикальными дугообразными линиями. Горизонтальные линии образуют шкалу температуры с ценой деления  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вертикальные дугообразные линии образуют шкалу времени с ценой деления 15 мин для суточного термографа, 2 ч – для недельного. Перед запуском термографа на ленте делается засечка с указанием времени и температуры воздуха.

### Задачи для самостоятельной работы

1. Вертикальный градиент температуры –  $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ . Температура воздуха у поверхности земли  $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Отдельная масса воздуха нагрелась до температуры  $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$  и начала подниматься. На какой высоте остановится конвективное поднятие воздуха?

2. Масса ненасыщенного воздуха при температуре  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  поднимается вверх по склону горы, адиабатически охлаждаясь. Какова температура на

высоте 1 000 м, если уровень конденсации достигается на высоте 500 м, а величина влажно-адиабатического градиента составляет  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ ?

3. Насыщенный водяным паром воздух при температуре  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  поднимается от подошвы горы до перевала, расположенного на высоте 3 000 м. Определить температуру опустившейся массы, если считать, что процесс протекает адиабатически, а величина влажно-адиабатического градиента составляет  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ .

4. Построить график хода среднемесячной температуры воздуха (гистограмму), используя данные Приложения В. По одной из метеостанций высчитать количество дней с температурой воздуха ниже и выше  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к метеорологическим термометрам?
2. Какие термометрические шкалы Вы знаете?
3. Какие виды жидкостных метеорологических термометров Вы знаете? Как они устроены?
4. Какова точность отсчёта по термометрам?
5. Как устанавливаются термометры для наблюдений над температурой воздуха?
6. Каков порядок наблюдений по минимальному и максимальному термометрам?
7. Какие термометры используются для наблюдений над температурой почвы, как они устанавливаются, как производятся наблюдения по ним?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бройдо, А. Г. Задачник по общей метеорологии / А. Г. Бройдо. – Л. : Гидрометеоздат, 1970. – 224 с.
2. Волошина, А. П. Руководство к лабораторным занятиям по метеорологии и климатологии / А. П. Волошина, Т. В. Евневич, А. И. Земцова ; под ред. С. П. Хромова. – М. : Издательство Московского университета, 1975. – 143 с.
3. Гуральник, И. И. Сборник задач и упражнений по метеорологии / И. И. Гуральник, С. В. Мамиконова, М. А. Полковникова. – Л. : Гидрометеоздат, 1968. – 224 с.
4. Евневич, Т. В. Метеорологический практикум / Т. В. Евневич, Б. В. Потараус, В. С. Самойленко. – М. : МГУ, 1981. – 176 с.
5. Задачник по общей метеорологии / под ред. В. Г. Морачевского. – Л. : Гидрометеоздат, 1984. – 311 с.
6. Каўрыга, П. А. Лабораторны практыкум па метэаралогіі і кліматалогіі / П. А. Каўрыга. – Мінск : БДУ, 1997. – 151 с.
7. Каўрыга, П. А. Кліматалогія / П. А. Каўрыга. – Мінск : БДУ, 2008. – 216 с.
8. Каўрыга, П. А. Метэаралогія / П. А. Каўрыга. – Мінск : БДУ, 2005. – 186 с.
9. Каўрыга, П. А. Метэаралогія і кліматалогія : практыкум / П. А. Каўрыга. – Мінск : Вышэйшая школа, 2011. – 222 с.
10. Ковшер, С. С. Практические и лабораторные занятия по метеорологии и климатологии / С. С. Ковшер, А. М. Богослова ; под ред. А. Х. Шкляра. – Минск : БГУ им. В. И. Ленина, 1973. – 127 с.
11. Моргунов, В. К. Основы метеорологии, климатологии. Метеорологические приборы и метеорологические наблюдения : учебник для вузов / В. К. Моргунов. – Ростов-на-Дону : Флакс, 2005. – 331 с.
12. Хромов, С. П. Метеорология и климатология для географических факультетов / С. П. Хромов. – Л. : Изд-во МГУ, 2001. – 526 с.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А (справочное)

### Солнечная радиация

Таблица А.1 – Альbedo разных типов деятельного слоя

Поверхность	Альbedo, %
Торфяник сухой	10
Торфяник влажный	8
Глина сухая	23
Глина влажная	16
Песок желтый	35
Песок белый	35–40
Зеленая трава	26
Сухая трава	19
Лес сосновый	15
Лес еловый	9–12
Рожь и пшеница в разных фазах развития	10–25
Снег сухой и чистый	85–90
Снег влажный чистый	55–60
Снег грязный	30–40
Вода	5–10

Таблица А.2 – Значения относительной излучательной способности разных типов деятельного слоя,  $\delta$

Тип деятельного слоя	$\delta$
Песок сухой	0,949
Песок влажный	0,962
Почва сухая	0,954
Почва влажная	0,986
Торф сухой	0,970
Торф влажный	0,983
Трава густая	0,986
Трава редкая	0,975
Снег чистый	0,986
Вода	0,960

Таблица А.3 – Значение  $\sigma T^4$  (кВт/м<sup>2</sup>) для разных температур

t °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-60	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
-50	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12
-40	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14
-30	0,20	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17
-20	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20
-10	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24
0	0,32	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,36
10	0,36	0,37	0,37	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40	0,41	0,41
20	0,42	0,42	0,43	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,47	0,47
30	0,48	0,48	0,49	0,50	0,50	0,51	0,52	0,52	0,53	0,54
40	0,55	0,55	0,56	0,57	0,57	0,58	0,59	0,60	0,60	0,61
50	0,62	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,67	0,68	0,69
60	0,70	0,71	0,72	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78

Примечание –  $\sigma = 5,67032 \cdot 10^{11}$  кВт/м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

## Атмосферное давление

Таблица Б.1 – Приведение показаний барометра к температуре 0 °С

Температура	Показания барометра								
	мм рт. ст.				гПа				
	750	760	770	780	990	1000	1010	1020	1030
±10,0	±1,2	±1,2	±1,2	±1,3	±1,6	±1,6	±1,6	±1,6	±1,7
10,5	1,3	1,3	1,3	1,3	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8
11,0	1,3	1,4	1,4	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
11,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
12,0	1,5	1,5	1,5	1,6	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
12,5	1,5	1,6	1,6	1,6	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1
13,0	1,6	1,6	1,6	1,6	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2
13,5	1,6	1,7	1,7	1,7	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3
14,0	1,7	1,7	1,8	1,8	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4
14,5	1,8	1,8	1,8	1,8	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4
15,0	1,8	1,8	1,9	1,9	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5
15,5	1,9	1,9	1,9	2,0	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6
16,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7
16,5	2,0	2,0	2,1	2,1	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8
17,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8
17,5	2,1	2,2	2,2	2,2	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9
18,0	2,2	2,2	2,3	2,3	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0
18,5	2,3	2,3	2,3	2,4	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1
19,0	2,3	2,4	2,4	2,4	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2
19,5	2,4	2,4	2,4	2,5	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3
20,0	2,4	2,5	2,5	2,5	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3
20,5	2,5	2,5	2,6	2,6	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4
21,0	2,6	2,6	2,6	2,6	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5
21,5	2,6	2,7	2,7	2,7	3,5	3,5	3,5	3,6	3,6
22,0	2,7	2,7	2,8	2,8	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7
22,5	2,7	2,8	2,8	2,9	3,6	3,7	3,7	3,7	3,8
23,0	2,8	2,8	2,9	2,9	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8
23,5	2,9	2,9	2,9	3,0	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9
24,0	2,9	3,0	3,0	3,0	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0
24,5	3,0	3,0	3,1	3,1	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1
25,0	3,1	3,1	3,1	3,2	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2

Примечание – При температуре выше нуля поправка отнимается, при температуре ниже нуля – прибавляется

Таблица Б.2 – Приведение показаний барометра к стандартному ускорению свободного падения (поправка на широту)

Широта, град.		Показания барометра, гПа							
Отнимается	Прибавляется	970	980	990	1000	1010	1013	1020	1030
10	80	2,36	2,38	2,41	2,43	2,46	2,47	2,48	2,51
12	78	2,30	2,32	2,34	2,37	2,39	2,40	2,42	2,44
14	76	2,22	2,24	2,26	2,29	2,31	2,32	2,33	2,36
16	74	2,13	2,15	2,17	2,20	2,22	2,23	2,24	2,26
18	72	1,03	2,05	2,07	2,10	2,12	2,12	2,14	2,16
20	70	1,92	1,94	1,96	1,98	2,00	2,01	2,02	2,04
22	68	1,81	1,82	1,84	1,86	1,88	1,89	1,91	1,92
24	66	1,68	1,70	1,72	1,73	1,75	1,76	1,77	1,76
26	64	1,55	1,56	1,58	1,60	1,61	1,62	1,63	1,64
28	62	1,40	1,42	1,43	1,45	1,46	1,47	1,48	1,49
30	60	1,26	1,27	1,28	1,30	1,31	1,31	1,32	1,33
32	58	1,10	1,11	1,12	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17
34	56	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	1,00
36	54	0,78	0,78	0,79	0,80	0,81	0,81	0,82	0,82
38	52	0,61	0,61	0,62	0,63	0,64	0,64	0,64	0,65
40	50	0,44	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46
42	48	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28
44	46	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
45	45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица Б.3 – Приведение показаний барометра к уровню моря (поправка на высоту над уровнем моря)

Высота, м	Показания барометра, гПа										
	820	840	860	880	900	920	940	960	980	1000	1020
100						0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
200					0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
300					0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
400			0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08
500			0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10
600		0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	
700		0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	
800		0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16	
900		0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17			
1 000	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,19			

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

### Температура воздуха и почвы

Таблица В.1 – Средняя месячная температура воздуха, °С

Точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Верхнедвинск	-7,2	-6,9	-2,8	4,8	12,0	15,6	17,5	16,1	11,2	5,5	0,0	-4,6
Полоцк	-7,2	-6,9	-2,7	4,8	12,2	15,7	17,7	16,2	11,2	5,4	-0,1	-4,7
Шаркавщина	-7,0	-6,5	-2,6	4,7	12,3	15,7	17,8	16,3	11,5	5,7	0,3	-4,4
Витебск	-7,8	-7,3	-2,9	5,0	12,6	16,0	18,0	16,3	11,2	5,2	-0,4	-5,2
Лепель	-7,2	-6,7	-2,5	5,0	12,5	16,0	17,9	16,3	11,4	5,6	-0,2	-4,7
Орша	-7,8	-7,4	-2,9	4,9	12,6	16,1	18,0	16,4	11,4	5,2	-0,4	-5,2
Вилейка	-6,5	-6,0	-1,8	5,4	12,7	15,9	17,8	16,2	11,6	6,0	0,4	-4,0
Борисов	-6,9	-6,3	-1,9	5,6	12,9	16,4	18,2	16,6	11,7	5,6	0,1	-4,6
Воложин	-6,7	-6,1	-1,9	5,3	12,5	15,7	17,5	16,1	11,6	5,8	0,3	-4,2
Минск	-6,9	-6,4	-2,2	5,3	12,6	16,0	17,8	16,2	11,6	5,6	0,0	-4,5
Марьина Горка	-6,9	-6,1	-1,9	5,5	12,7	16,0	17,9	16,4	11,7	5,9	0,4	-4,4
Слуцк	-6,3	-5,6	-1,4	6,0	13,0	16,1	18,0	16,6	12,1	6,3	0,8	-3,8
Гродно	-5,1	-4,5	-0,6	6,3	13,0	16,2	18,0	18,8	12,6	7,0	1,6	-2,8
Новогрудок	-6,6	-5,8	-1,8	5,1	12,1	15,4	17,4	16,0	11,8	5,9	0,2	-4,2
Волковыск	-4,9	-4,4	-0,4	6,6	13,3	16,6	18,2	16,9	12,6	7,0	1,8	-2,7
Горки	-8,2	-7,9	-3,5	4,6	12,4	15,9	17,8	16,2	11,1	5,0	-0,7	-5,6
Могилев	-7,5	-7,0	-2,5	5,4	12,9	16,4	18,2	16,6	11,6	5,3	-0,2	-5,1
Славгород	-7,5	-7,1	-2,5	5,6	13,3	16,6	18,5	16,9	11,8	5,4	-0,2	-5,1
Бобруйск	-6,7	-6,1	-1,8	5,9	13,2	16,6	18,2	16,9	12,2	6,3	0,5	-4,3

Производственно-практическое издание

**Флерко** Татьяна Григорьевна

**МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ.  
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЗДУХА**

Практическое пособие

Редактор А. А. Банчук  
Корректор В. В. Калугина

Подписано в печать 06.09.2022. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 2,8. Уч.-изд. л. 3,1.

Тираж 10 экз. Заказ 389.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования

«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017.

Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013.

Ул. Советская, 104, 246028, Гомель.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ



РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

**Т. Г. ФЛЕРКО**

**МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ.  
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОЗДУХА**



Гомель  
2022