

П.А. Молчанов

Краткий курс аэрологии

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 55
ББК 26.3
П11

П11 **П.А. Молчанов**
Краткий курс аэрологии / П.А. Молчанов – М.: Книга по Требованию, 2021. – 247 с.

ISBN 978-5-458-59597-1

ISBN 978-5-458-59597-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий „Краткий курс аэрологии“ представляет собой переработку книги того же автора „Аэрология“ и предназначена для студентов высших и средних учебных заведений Гражданского воздушного флота, а также для летчиков Воздушного флота.

Знание атмосферы и развивающихся в ней процессов несомненно является одним из необходимых условий для правильной организации воздушного транспорта, так же как и других отраслей народного хозяйства. Однако значение этого знания становится особенно важным для того планового хозяйства, которое развертывается в нашем Союзе. Если в условиях капиталистического хозяйства с его мелким частным землевладением, бесплановым транспортом — воздушным и других видов — влияние одних и тех же явлений сказывается совершенно различно для отдельных предприятий, то планируемое хозяйство Союза может извлечь из точного учета атмосферных процессов громадные преимущества. Вместе с тем изучение состояния атмосферы оказывается делом настолько сложным и требующим такой большой и четкой организации, что достаточно полное решение этой задачи мыслимо только в условиях организованного социалистического строительства. Отсюда становится понятным, что уже теперь советская метеорологическая служба занимает по размерам сети метеорологических и аэрологических станций одно из первых мест среди европейских метеорологических организаций. Надо надеяться, что в текущую пятилетку советские метеорологические организации поднимут и качественную сторону своей работы на первое место во всем мире.

За последние 5—6 лет в Советском Союзе поставлено в широком масштабе производство метеорологических приборов на заводах ВОТИ. Это достижение позволило почти полностью освободиться от заграничной зависимости в области инструментальной метеорологии. Приборы изготовления ВОТИ по качеству нисколько не уступают стандартному заграничному оборудованию метеорологических станций и в целом ряде случаев даже превосходят их (например термометры специального назначения). Уже ряд лет заводы ВОТИ выпускают такие сложные установки, как анемометры Фуса, плевнитографы и прочие самопишущие приборы. В настоящее время оборудование большинства метеорологических станций состоит из приборов советского производства. Кроме того значительная часть устаревшего оборудования освежена инструментами нашего же изготовления.

Значение исследований атмосферы становится особенно важным в связи с ростом службы погоды. Составление анализа состояния погоды и тем более прогноза о предстоящих изменениях ее без точных данных аэрологических исследований следует считать делом чрезвычайно трудным. Между тем

требования к точности работы службы погоды особенно возрастают в связи с интенсивным развитием Гражданского воздушного флота нашего Союза. Можно без преувеличения утверждать, что выполнение задания партии и правительства Союза „летать во всякую погоду днем и ночью“ возможно лишь при рационально организованной и правильно использованной службе погоды. С другой стороны, развитие современных воздушных средств передвижения и глубокое внедрение применения этих средств в народное хозяйство СССР требуют максимальной регулярности и безопасности воздушной связи. Однако достижение этой цели возможно лишь при точном учете состояния воздушной среды, в которой происходит полет, и при умении летного состава рационально использовать все имеющиеся в данный момент возможности для совершения полета. Естественно, что подобное условие требует от летного состава и вообще от всех непосредственных руководителей воздушных сообщений конкретных знаний атмосферы и развивающихся в ней основных атмосферных процессов. Работники воздушного флота должны иметь ясное представление о том, каковы реальные возможности аэрометеорологического обслуживания при современном состоянии науки. Переоценка этих возможностей, так же как и недооценка их, могут оказаться весьма вредными для правильной организации воздушного транспорта.

В настоящей книге автор старался дать по возможности краткое и конкретное представление о методах аэрометеорологических исследований, а также об основных результатах этих исследований. При изложении особенностей атмосферных процессов автор стремился излагать современные теории лишь постольку, поскольку они помогают конкретному усвоению этих процессов.

I. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

ГЛАВА ПЕРВАЯ

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ ИЗМЕРЕНИЕ У ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

1. Основные метеорологические элементы и их значение для воздушного транспорта

Изучение состояния атмосферы производится путем определения основных величин, характеризующих физическое и динамическое состояние воздуха.

Для целей воздушного транспорта важнейшими из этих величин являются следующие.

1. Атмосферное давление, или сила, которую развивает воздух на площадку в 1 см^2 .

2. Температура воздуха, характеризующая тепловое состояние воздуха.

3. Влажность воздуха, характеризующая содержание газообразной влаги в воздухе.

4. Воздушные течения, рассматриваемые по величине скорости воздуха и по направлению. Для целей воздушного транспорта представляется кроме того чрезвычайно важным рассматривать также и изменчивость скорости движения воздуха (порывистость).

5. Видимость в атмосферных слоях, или прозрачность.

6. Облачность и осадки, характеризующие содержание в воздухе влаги в жидком или твердом состоянии.

7. Оптические явления в атмосфере (включая сюда оптические явления в облаках и падающих осадках).

Все эти величины носят название метеорологических элементов. Совокупность значений метеорологических величин, характеризует общее состояние атмосферы, или погоду.

Изучение состояния атмосферного давления имеет громадное значение для воздушного транспорта в том отношении, что, как мы увидим впоследствии, распределение давления на каком-либо уровне определяет движение воздуха на этом уровне и кроме того известным образом характеризует и общее состояние погоды. Кроме того величина атмосферного давления определяет вместе с температурой величину плотности воздуха, которая имеет непосредственное значение для величины подъемной силы дирижаблей и самолетов.

Наконец определение состояния атмосферного давления представляется необходимым для определения высоты слоя полета.

Температура воздуха, как уже указывалось выше, влияет на плотность

воздуха, а следовательно и на условия полета. Особенно велико значение температуры для кораблей легче воздуха, подъемная сила которых в весьма значительной степени меняется при изменении плотности окружающей их среды.

Большое значение для воздушного транспорта имеет и распределение температуры по вертикали и по горизонтали. Впоследствии мы увидим, что это распределение температуры по вертикали (изменение температуры с высотой) имеет первостепенное и непосредственное значение для условий полета как самолетов, так и дирижаблей. Что касается горизонтального распределения, то, как будет подробно объяснено позднее, оно оказывает первостепенное влияние на развитие основных атмосферных процессов, определяющих летную погоду.

Влажность воздуха имеет громадное значение для полета в том отношении, что в пересыщенном влагой воздухе воздушные аппараты покрываются жидкими или твердыми осадками. Особенно вредное влияние могут иметь твердые осадки, перегружающие своим весом аппарат и, с другой стороны, ухудшающие условия обтекания аппарата воздухом.

Содержание влаги в воздухе имеет существенное значение для материальной части самолетов. Наконец содержание влаги в воздухе и в особенности переход ее из одного состояния в другое представляют один из важнейших факторов, определяющих условия погоды: облачности, осадков, видимости и пр.

Движение воздуха, как нетрудно видеть, имеет непосредственное значение для полета каждого аппарата, летящего в воздухе, так как скорость движения воздуха входит как составляющая скорости движения и летательного аппарата. Ввиду того, что скорость движения воздуха на высоте полета обычно достигает величины около 10—15% собственной скорости аппарата, учет ее очевидно является необходимым для правильного счисления пути летательного аппарата. В зависимости от распределения воздушных течений кратчайший путь между двумя точками может не совпадать с геометрически кратчайшим расстоянием. Такой путь можно назвать „аэрологическим кратчайшим“ путем. Большое значение для полета имеет так называемая порывистость ветра или изменчивость величины и направления скорости ветра.

Как мы увидим подробнее впоследствии, эта изменчивость почти полностью определяет условия полета с точки зрения устойчивости высоты и курса полета. Ввиду этого изучение ветра для целей обслуживания воздушного транспорта должно производиться не только с точки зрения средних значений величины и направления скорости ветра, но и главным образом с точки зрения изменчивости этих величин.

Условия прозрачности атмосферного воздуха или расстояния, на котором бывают видны предметы на земной поверхности, имеют очевидно преимущественное значение для полета. Необходимо при этом помнить, что сравнительно большая скорость воздушного транспорта (от 30 до 60 м/сек) заставляет предъявлять к условиям видимости особенно высокие требования. Облачность и осадки представляют также непосредственный интерес для воздушного транспорта, так как например низкая облачность и сильные осадки значительно ухудшают условия ориентировки в воздухе. Кроме того облака, являясь одним из первоначальных продуктов различных процессов, развертывающихся в атмосфере, служат наглядным признаком этих процессов.

Последний из приведенных выше метеорологических элементов—оптические явления в атмосферном воздухе и падающих осадках—имеет для воздушного транспорта лишь тот интерес, что эти явления служат хорошим указанием на то или иное состояние отдельных атмосферных слоев.

Кроме обычных метеорологических элементов, для воздушного транспорта значительный интерес представляет также электрическое состояние атмосферного воздуха на различных высотах. Этот вопрос будет рассмотрен в самых кратких чертах в конце настоящей книги.

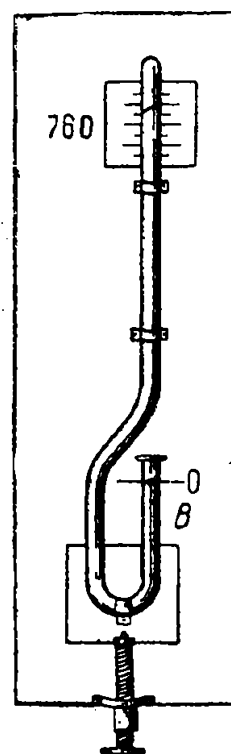
2. Приборы для измерения атмосферного давления

Под давлением воздуха разумеется сила, действующая со стороны воздуха на 1 см^2 поверхности. Для того чтобы эта сила могла быть измерена, необходимо иметь прибор такого устройства, в котором она действовала бы на какую-либо поверхность только с одной стороны этой поверхности. В таком случае сила, которую требуется приложить к другой стороне поверхности для уравнивания силы давления воздуха, и будет служить для измерения величины давления.

На фиг. 1 приведена схема одного из наиболее употребительных ртутных барометров. В этом приборе сила атмосферного давления давит на поверхность ртути в открытой трубке *В*. Другой конец трубки запаян, а наполнение всей трубки ртутью производится так, чтобы в запаянном конце ее воздуха совершенно не оставалось. Таким образом силе, действующей на ртуть в открытом колене трубки, противопоставляется лишь сила веса столба ртути, поднятого в другом колене. Длина этого столба позволяет (если известен удельный вес ртути) определить давление ртути на уровне ее в открытом конце трубки, а отсюда и давление воздуха. Как показывают измерения при помощи такого прибора, величина атмосферного давления составляет в среднем около $1,033 \text{ кг/см}^2$.

Для измерения давления служит обычно не непосредственно единица силы давления, а выраженная в миллиметрах длина ртутного столба, уравнивающего давление. При температуре ртути 0° и широте 45° давлению в $1,033 \text{ кг/см}^2$ соответствует, как это нетрудно вычислить, столб ртути длиной в 760 мм.

Таким образом, если говорят: „давление равно 740 мм“, то следует понимать, что давление поддерживает в барометре столб ртути длиной в 740 мм при температуре ртути в 0° и по широте в 45° . Действительное давление будет $1,0136 \cdot 74 = 1,006 \text{ кг/см}^2$. В абсолютных единицах, в системе сантиметр, грамм, секунда, нормальная сила атмосферного давления выразится очевидно произведением объема столба ртути длиной в 76 см и сечением в 1 см^2 на плотность ртути 13,596 и на ускорение силы тяжести 980,6 см/сек, что дает: $76 \cdot 13,596 \cdot 980,6 = 1\,013\,250$ дин. Столб ртути высотой в 1 мм соответствует давлению в 1333 дин, и для превращения в дины давления ртутного столба, выраженного в миллиметрах, следует число миллиметров умножить на 1333.



Фиг. 1.

Ввиду неудобства такого пересчета и ввиду важности для теоретических исследований иметь дело не с относительной единицей, каковой является длина ртутного столба, а с абсолютной, во многих странах, а также в международных метеорологических и аэрологических изданиях пользуются, по предложению Бьеркнеса, новой единицей, носящей название бар. Бар соответствует давлению в 1 000 000 дин на 1 см², или, как легко можно получить, давлению атмосферы, поддерживающему столб ртути в барометре высотой в 760,1 мм. Одна тысячная бара носит название миллибара. В практике последняя величина чаще всего и употребляется.

Таким образом нормальное давление в 760 мм будет равно 1013,2 миллибара и т. д. В табл. 1 приведены значения давления в миллибарах при различных его величинах, выраженных в миллиметрах.

Таблица 1

Перевод давления миллиметров ртутного столба в миллибары

Давление рт. ст. мм	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
700	933,2	934,6	935,9	937,6	938,6	939,9	941,2	942,6	943,9	945,2
710	946,6	947,9	949,2	950,6	951,9	953,2	954,6	955,9	957,2	958,6
720	959,9	961,2	962,6	963,9	965,2	966,6	967,9	969,2	970,6	971,9
730	973,2	974,6	975,9	977,2	978,6	979,9	981,2	982,6	983,9	985,2
740	986,6	987,9	989,2	990,6	991,9	993,2	994,6	995,9	997,2	998,6
750	999,9	1 001,2	1 002,6	1 003,9	1 005,2	1 006,6	1 007,9	1 009,2	1 010,6	1 011,9
760	1 013,2	1 014,6	1 015,9	1 017,2	1 018,6	1 019,9	1 021,2	1 022,6	1 023,9	1 025,2
770	1 026,6	1 027,9	1 029,2	1 030,6	1 031,9	1 033,2	1 034,6	1 035,9	1 037,2	1 038,6
780	1 039,9	1 041,2	1 042,6	1 043,9	1 045,2	1 046,6	1 047,9	1 049,2	1 050,6	1 051,9
790	1 053,2	1 054,6	1 055,9	1 057,2	1 058,6	1 059,9	1 061,2	1 062,6	1 062,9	1 065,2
800	1 066,6	1 067,9	1 069,2	1 070,6	1 071,9	1 073,2	1 074,6	1 075,9	1 077,2	1 078,6
810	1 079,9	1 081,2	1 082,6	1 083,9	1 085,2	1 086,6	1 087,9	1 089,2	1 090,6	1 091,9

Определение величины давления по ртутному барометру требует известных навыков и предосторожностей. Прежде всего необходимо помнить, что непосредственные отсчеты по барометру требуют каждый раз введения поправок на температуру ртути и шкалы барометра и наконец на изменение силы тяжести с широтой. Для введения поправок на температуру ртути и шкалы барометра снабжаются небольшими термометрами, помещенными в оправе прибора. Величины поправок на температуру латунной шкалы и ртути барометра приведены в табл. 2.

Исправленный таким образом отсчет по барометру дает величину давления на той высоте, на которой находился уровень открытого конца барометра в момент отсчета. Для получения того отсчета, который в тот же момент должен был бы получиться на другом уровне, в частности на уровне моря (к которому обычно приводятся отсчеты всех барометров для службы погоды), следует прибавить к полученному отсчету величину веса того столба воздуха, который находится между уровнем барометра и уровнем моря.

В табл. 3 приведены значения этих поправок для различных значений давления и температуры воздуха.

ТАБЛИЦА 2

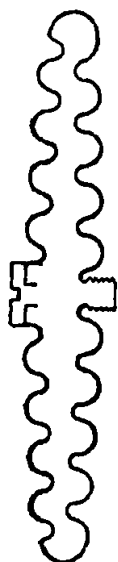
Поправки к отсчетам барометра для приведения к θ° ртутного столба

$t^\circ \backslash b$	600	650	700	750	800
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7
6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8
7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9
8	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0
9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2
10	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3
11	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4
12	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
13	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
14	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
15	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0
16	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1
17	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2
18	1,7	1,9	2,0	2,2	2,3
19	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5
20	1,9	2,1	2,3	2,4	2,6
21	2,0	2,2	2,4	2,6	2,7
22	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9
23	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
24	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1
25	2,4	2,6	2,8	3,0	3,3
26	2,5	2,7	3,0	3,2	3,4
27	2,6	2,8	3,1	3,3	3,5
28	2,7	2,9	3,2	3,4	3,6
29	2,8	3,0	3,3	3,5	3,8
30	2,9	3,2	3,4	3,6	3,9

ТАБЛИЦА 3

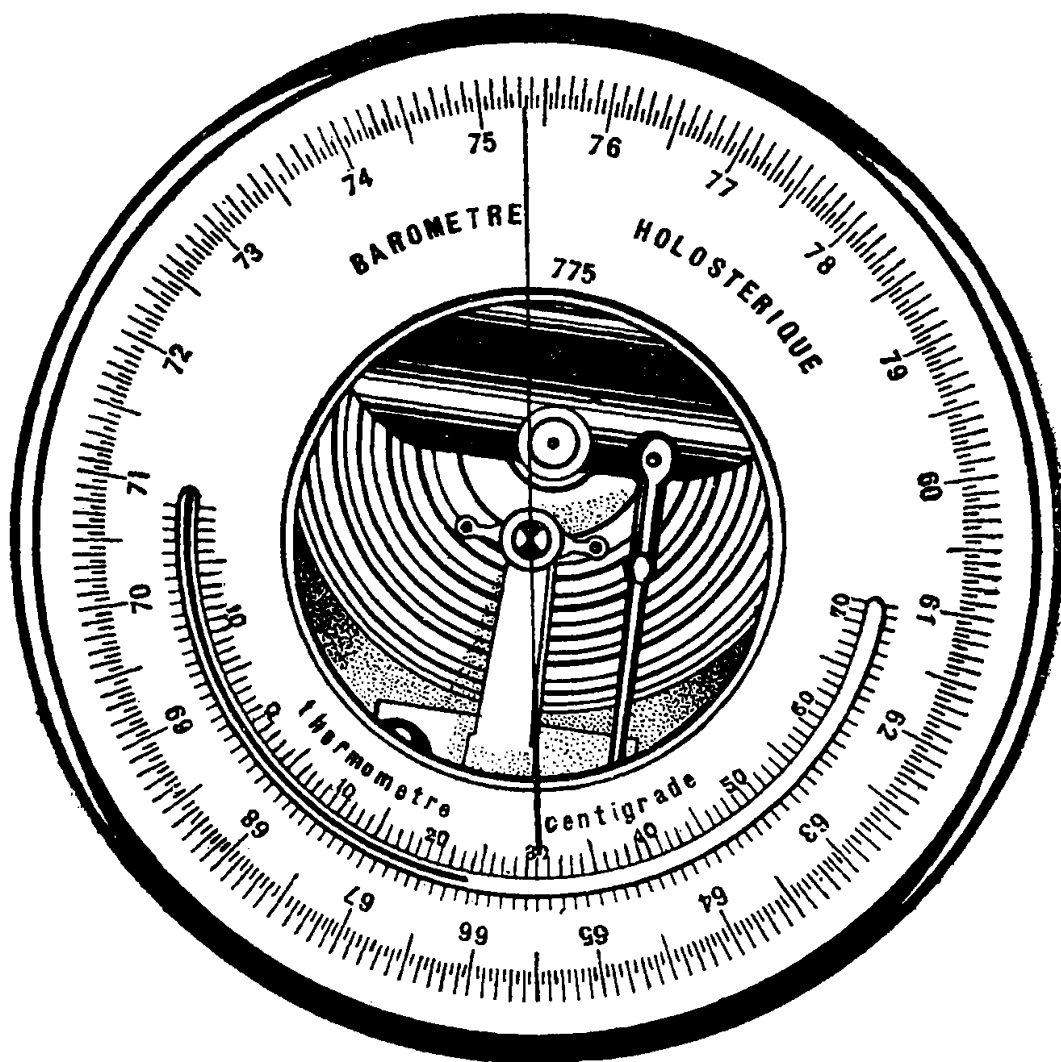
Изменение барометрического давления на каждые 100 м
(высота в миллиметрах)

$t^\circ \backslash b$	710	720	730	740	750	760	770	780	790	800
— 30	10,0	10,1	10,3	10,4	10,5	10,7	10,8	11,0	11,1	11,2
— 25	9,9	9,9	10,0	10,2	10,3	10,5	10,6	10,7	10,9	11,0
— 20	9,6	9,7	9,9	10,0	10,0	10,3	10,5	10,5	10,7	10,8
— 15	9,4	9,5	9,7	9,8	9,9	10,1	10,2	10,3	10,5	10,6
— 10	9,2	9,4	9,5	9,6	9,7	9,9	10,2	10,1	10,3	10,4
— 5	9,0	9,2	9,3	9,4	9,5	9,7	9,8	9,9	10,1	10,2
0	8,9	9,0	9,1	9,3	9,4	9,5	9,6	9,8	9,9	10,0
5	8,7	8,9	9,0	9,1	9,2	9,3	9,5	9,6	9,7	9,8
10	8,6	8,7	8,8	8,9	9,1	9,2	9,3	9,4	9,5	9,7
15	8,4	8,5	8,7	8,8	8,9	9,0	9,1	9,3	9,4	9,5
20	8,3	8,4	8,5	8,6	8,8	8,9	9,0	9,1	9,2	9,3
25	8,1	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9,1	9,2
30	8,0	8,1	8,2	8,3	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9,0
35	7,9	8,0	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,7	8,8	8,9
40	7,8	7,9	8,0	8,1	8,2	8,3	8,4	8,5	8,6	8,7



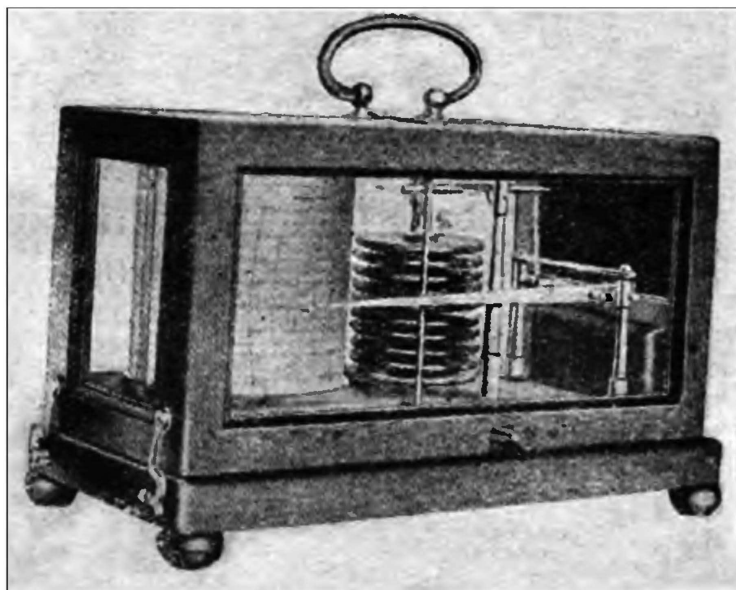
Кроме ртутных, на практике часто применяются металлические барометры, или, как их иначе называют анероиды, что означает — без жидкостные. Принцип их устройства заключается в применении металлической коробки с гофрированными основаниями, запаянной так, чтобы находящийся внутри газ совершенно не сообщался с наружным воздухом (фиг. 2). Построенная таким образом коробка очевидно будет изменять свой объем, сдвигаясь при повышении наружного давления и расширяясь при понижении этого давления. В случае присутствия внутри такой коробки большого количества газа изменение ее объема будет однако происходить не только при изменении давления, но и при изменении температуры, так как при повышении температуры и расширении воздуха коробка при том же давлении будет расширяться и, наоборот, при понижении температуры она будет сжиматься.

Во избежание этого воздух из барометрической коробки почти полностью выкачивается, а для противодействия давлению воздуха внутри ее или вне ее приделывают специальную пружину, растягивающую коробку. Однако влияние температуры сказывается и на пружине, изменяя ее упругость, а именно: при повышении



Фиг. 3.

температуры упругость пружины уменьшается, и при одном и том же атмосферном давлении коробка сдавливается в большей степени, чем при более низкой температуре. Для устранения этого внутри коробки оставляется некоторое количество газа, который, как мы видели выше, при повышении температуры стремится расширить коробку, т. е. действовать в сторону, противоположную изменению коробки под влиянием уменьшения упругости пружины. Аналогичное соотношение, как легко видеть, получается и при понижении температуры, когда увеличение упругости пружины компенсируется уменьшением объема воздуха внутри коробки. Само собой разумеется, что для достижения возможно полной компенсации необходимо строго рассчитать количество оставляемого внутри газа. С другой стороны, этот метод дает достаточную компенсацию только в



Фиг. 4.

известных пределах температуры и давления. Однако для метеорологических целей, когда anerоиды обычно находятся в закрытых помещениях, а давление у земли изменяется незначительно, подобная компенсация бывает совершенно достаточной. Внешний вид металлического барометра (анероида) приведен на фиг. 3.

Металлический anerоид может быть сконструирован таким образом, что стрелка его будет не только указывать существующее давление, но и записывать последовательные значения давления для различных промежутков времени. Такой прибор называется барографом. Внешний вид барографа приведен на фиг. 4. Конец указателя anerоида снабжается особым пером, в которое наливаются глицериновые несохнущие чернила. Перо записывает положение указателя в каждый отдельный момент на ленте, надеваемой на барабан. Последний вращается находящимся внутри него часовым механизмом, который берется или с суточным оборотом или с недельным. Как anerоид, так и барограф должны быть сравнены с ртутным барометром. Подробности об этих приборах можно найти в специальных руководствах по практической метеорологии.

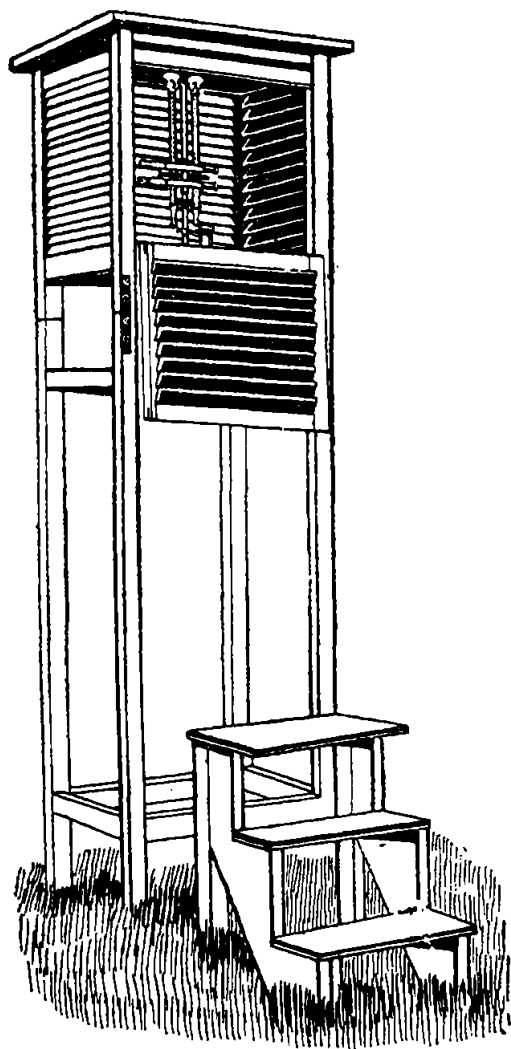
3. Измерение температуры воздуха

Определение температуры воздуха для метеорологических целей требует еще больших предосторожностей, чем определение давления.

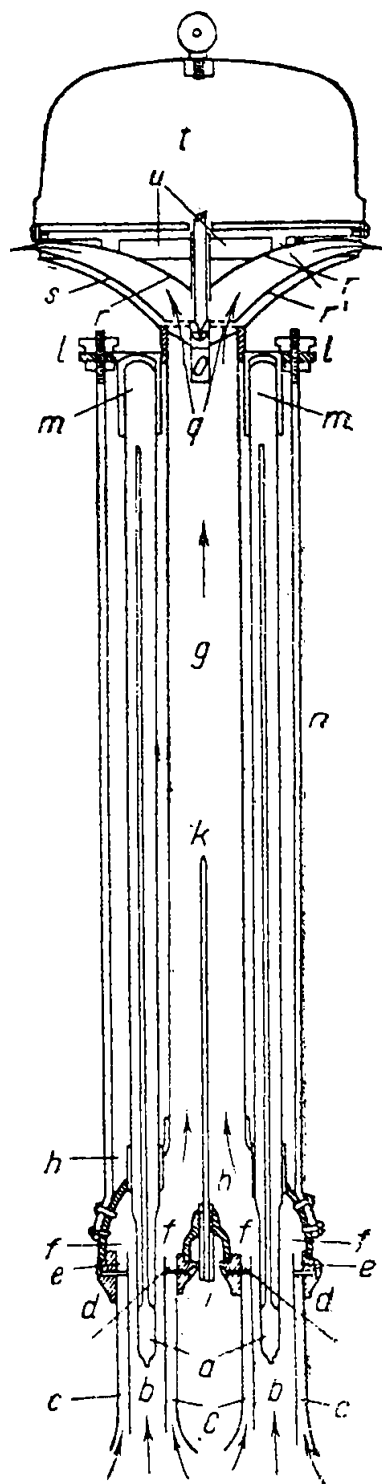
Наибольшие трудности здесь связаны с необходимостью самым тщательным образом избегать влияния солнечных лучей и лучеиспускания соседних к термометру нагретых или охлажденных сравнительно с воздухом тел. Для

возможного устранения этих влияний термометры устанавливаются в особых будках, называемых термометрическими будками. На фиг. 5 показан внешний вид такой будки. Она имеет стенки в виде двойных жалюзи, совершенно закрывающих доступ солнечным лучам внутрь будки и в то же время позволяющих воздушному потоку свободно проходить сквозь них.

Дверка будки должна открываться на север, с тем чтобы при производстве отсчетов избежать влияния лучей на шарики термометров. Крышка и дно будки устраиваются двойными во избежание нагревания внутренних частей будки и влияния излучения от



Фиг. 5.



Фиг. 6.

земной поверхности. Высота будки берется с таким расчетом, чтобы шарики термометров находились на расстоянии 2 м от земной поверхности. Площадка, на которой устанавливается будка для обычных метеорологических целей, должна быть по возможности открыта для ветра. Необходимо также