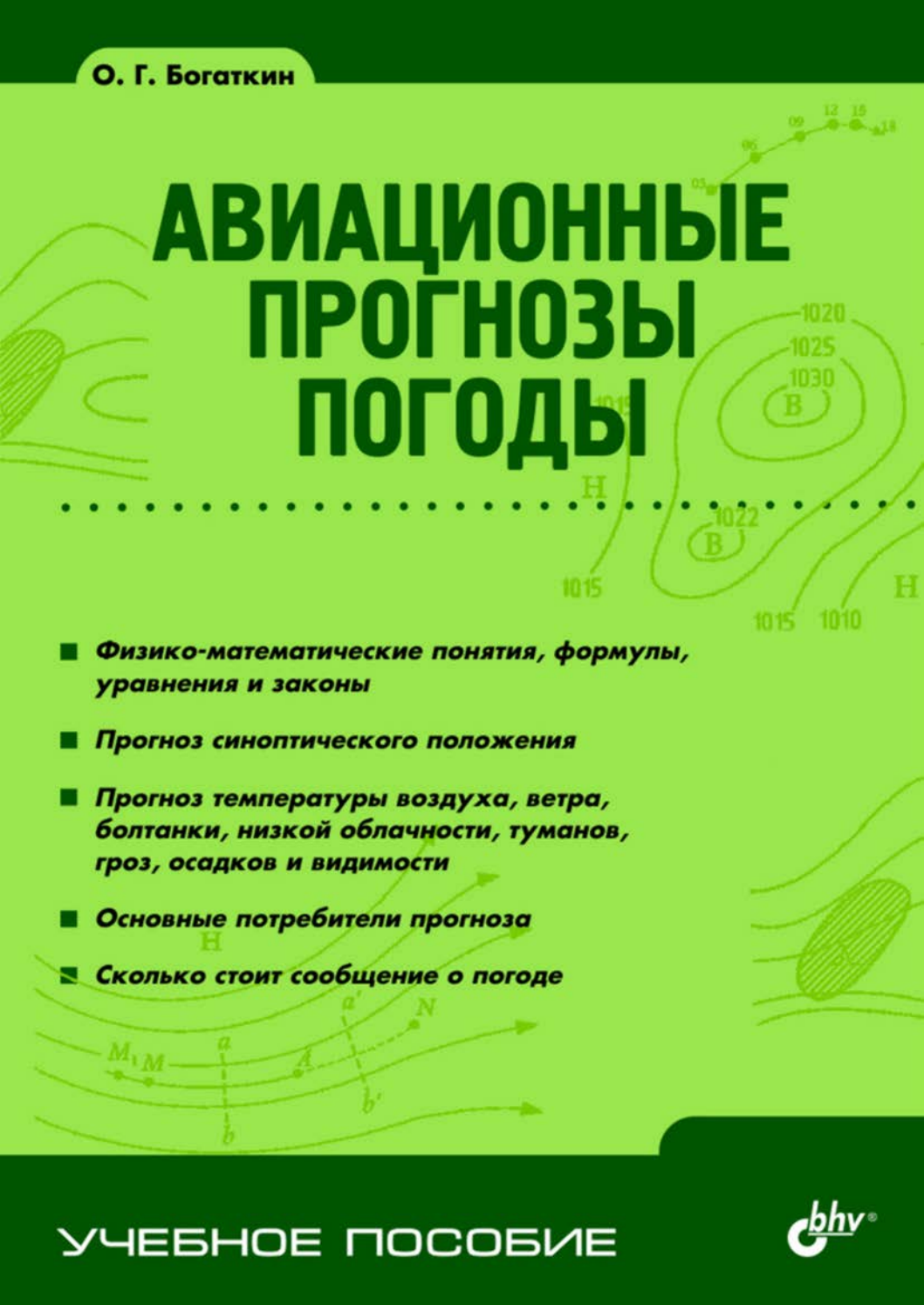


# АВИАЦИОННЫЕ ПРОГНОЗЫ ПОГОДЫ



- *Физико-математические понятия, формулы, уравнения и законы*
- *Прогноз синоптического положения*
- *Прогноз температуры воздуха, ветра, болтанки, низкой облачности, туманов, гроз, осадков и видимости*
- *Основные потребители прогноза*
- *Сколько стоит сообщение о погоде*

**О. Г. Богаткин**

# **АВИАЦИОННЫЕ ПРОГНОЗЫ ПОГОДЫ**

**2-е издание,  
стереотипное**

Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
по образованию в области гидрометеорологии в качестве учебного пособия  
по дисциплине «Авиационная метеорология» для студентов высших учебных  
заведений, обучающихся по направлению Гидрометеорология

Санкт-Петербург  
«БХВ-Петербург»  
2010

УДК 519.24:556.5(075.8)

ББК 26.23я73

Б73

**Богаткин О. Г.**

Б73      Авиационные прогнозы погоды. — 2-е изд., стереотипное. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 288 с.: ил. — (Учебное пособие)

ISBN 978-5-9775-0605-2

Кратко изложены основы метеорологии, а также физические причины возникновения различных неблагоприятных и опасных явлений погоды. На простых примерах и с использованием несложного математического аппарата показана взаимосвязь процессов, происходящих в атмосфере. Рассмотрены современные методы прогноза опасных явлений погоды (температуры воздуха, ветра, атмосферной турбулентности, низкой облачности, туманов, гроз, осадков, видимости и др.), используемые в практике метеорологического обеспечения гражданской авиации. Приведена полезная справочная информация, а также оценка экономического эффекта метеорологических прогнозов.

*Для студентов гидрометеорологических вузов, курсантов летных училищ, специалистов-метеорологов, а также для летного и диспетчерского состава гражданской и военной авиации*

УДК 519.24:556.5(075.8)

ББК 26.23я73

*Рецензенты:*

**А. Б. Майзельс**, заместитель директора Северо-Западного филиала Метеоагентства Росгидромета по авиационно-метеорологическому обеспечению

**Л. Ю. Белоусова**, кандидат географических наук, профессор, заведующий кафедрой авиационной метеорологии Санкт-Петербургского университета гражданской авиации

# Оглавление

Предисловие .....	9
<b>ЧАСТЬ I. ДАВАЙТЕ ВСПОМНИМ .....</b>	<b>11</b>
<b>Глава 1. Разные "единицы" .....</b>	<b>13</b>
1.1. Единицы измерения атмосферного давления .....	13
1.2. Единицы измерения плотности воздуха .....	15
1.3. Единицы измерения геопотенциала .....	16
1.4. Единицы измерения температуры .....	16
1.5. Единицы измерения скорости и направления ветра .....	17
1.6. Единицы измерения влажности воздуха .....	19
1.7. Единицы измерения величины перегрузки воздушных судов, обусловленные турбулентностью .....	21
1.8. Единицы измерения облачности .....	22
1.9. Единицы измерения видимости .....	23
1.10. Единицы измерения осадков .....	25
1.11. Единицы измерения интенсивности обледенения и гололеда .....	26
1.12. Единицы работы и энергии .....	26
1.13. Единицы измерения потока и притока тепла (энергии) .....	27
1.14. Единицы мощности .....	27
1.15. Единицы измерения световых величин .....	28
1.16. Единицы измерения уровня звукового давления .....	28
1.17. Приставки для обозначения кратных единиц .....	29
1.18. Нестандартные единицы .....	30
<b>Глава 2. Забытые понятия, формулы, уравнения и законы .....</b>	<b>32</b>
2.1. Стандартная атмосфера .....	32
2.2. Градиент .....	34
2.3. Разные температуры .....	34
Виртуальная температура .....	34
Потенциальная температура .....	35

Эквивалентная температура.....	35
Псевдоэквивалентная температура (псевдотемпература) .....	36
Псевдопотенциальная температура.....	36
Эквивалентно-потенциальная температура.....	36
2.4. Масштабы атмосферных процессов.....	37
2.5. Ветер в атмосфере.....	38
2.6. Вода в атмосфере .....	44
2.7. Устойчивость атмосферы.....	47
2.8. Атмосферные фронты.....	51
2.9. Виды прогнозов погоды и методы их разработки.....	56
2.10. Основные статистические понятия.....	60
<b>Глава 3. Разные уравнения и понятия.....</b>	<b>62</b>
3.1. Уравнение состояния газов .....	62
3.2. Основное уравнение статики атмосферы.....	62
3.3. Уравнения сухой и влажной адиабаты .....	64
3.4. Приближенное вычисление метеорологических величин .....	65
Вычисление первой производной.....	66
Вычисление второй производной.....	67
Вычисление градиентов .....	68
Вычисление лапласианов (операторов Лапласа) .....	69
Вычисление якобианов (операторов Якоби) .....	70
3.5. Уравнение Клаузиуса — Клайперона.....	70
3.6. Первое и второе начало термодинамики .....	71
Первое начало термодинамики.....	71
Второе начало термодинамики.....	73
3.7. Основные (исходные) уравнения гидродинамики и термодинамики атмосферы.....	75
Уравнения движения .....	75
Основное уравнение статики атмосферы .....	75
Уравнение неразрывности .....	76
Уравнение притока тепла.....	76
Уравнение состояния.....	76
3.8. Понятие о дивергенции .....	77
3.9. Уравнение вихря скорости .....	78
3.10. Понятие об адвекции и трансляции.....	80
3.11. Радиационный баланс .....	81
Радиационный баланс земной поверхности .....	81
Радиационный баланс атмосферы .....	82
Радиационный баланс системы "земля — атмосфера".....	82
3.12. Основные законы излучения.....	83
Закон Стефана — Больцмана.....	84
Закон Вина.....	84
Закон Кирхгофа.....	84

<b>Глава 4. Прогноз синоптического положения.....</b>	<b>86</b>
4.1. Комплексный анализ атмосферных процессов .....	86
4.2. Общие принципы прогноза синоптического положения.....	89
Построение траектории частицы.....	90
Принципы линейной экстраполяции.....	92
4.3. Возникновение, эволюция и перемещение циклонов .....	94
Общие положения.....	94
Возникновение циклонов .....	95
Эволюция циклонов.....	99
Регенерация циклонов .....	99
Правила перемещения циклонов .....	101
4.4. Возникновение, эволюция и перемещение антициклонов .....	103
Общие положения.....	103
Возникновение антициклонов .....	104
Эволюция антициклонов .....	106
Перемещение антициклонов .....	106
4.5. Перемещение и эволюция атмосферных фронтов .....	107
Перемещение атмосферных фронтов.....	107
Эволюция фронтов .....	109
<b>ЧАСТЬ II. ДАВАЙТЕ ПРОГНОЗИРОВАТЬ.....</b>	<b>111</b>
<b>Глава 5. Прогноз температуры воздуха.....</b>	<b>113</b>
5.1. Основные потребители прогноза температуры .....	113
5.2. Прогноз минимальной температуры воздуха .....	114
Метод А. С. Зверева.....	115
Метод М. Е. Берлянда .....	117
Формула Михельсона .....	117
Формулы Куприянова.....	118
Метод прогноза минимальной температуры, применяемый на одной из АМСГ на острове Сахалин .....	118
Метод прогноза минимальной температуры, применяемый в Якутске .....	118
5.3. Прогноз максимальной температуры воздуха .....	119
По аэрологической диаграмме .....	119
По полуэмпирическим формулам .....	121
5.4. Сверхкраткосрочный прогноз температуры воздуха у поверхности Земли .....	121
5.5. Прогноз температуры воздуха на высотах.....	124
5.6. Прогноз заморозков .....	125
Метод Михельсона .....	125
Метод Броунова .....	126
<b>Глава 6. Прогноз ветра.....</b>	<b>127</b>
6.1. Основные потребители прогноза ветра.....	127
6.2. Прогноз направления ветра.....	129

6.3. Прогноз скорости ветра у земли .....	131
Метод А. С. Зверева .....	131
Метод О. Г. Богаткина .....	132
Прогноз максимального ветра при грозах по аэрологической диаграмме .....	132
Определение скорости порывов ветра .....	135
6.4. Прогноз скорости ветра на высотах .....	140

## **Глава 7. Прогноз атмосферной турбулентности, вызывающей болтанку воздушных судов..... 144**

7.1. Основные потребители прогноза турбулентности .....	144
7.2. Синоптический метод прогноза атмосферной турбулентности .....	147
7.3. Физико-статистические методы прогноза атмосферной турбулентности .....	151
7.4. Нестандартные методы прогноза атмосферной турбулентности.....	155

## **Глава 8. Прогноз низкой облачности ..... 158**

8.1. Основные потребители прогноза низкой облачности.....	158
8.2. Прогноз формы и количества облаков .....	159
8.3. Прогноз высоты нижней границы облаков .....	161
Прогноз высоты нижней границы облаков по полуэмпирическим формулам....	161
Прогноз высоты нижней границы облачности по методу Е. И. Гоголевой.....	162
Прогноз высоты нижней границы облачности по методу ГАМЦ .....	165
Прогноз облачности ниже 400 м в Красноярске .....	166
Прогноз высоты нижней границы облаков по методу В. М. Ярковой .....	167
Прогноз низкой облачности в Воркуте .....	167
8.4. Прогноз высоты верхней границы облаков .....	173
8.5. Прогноз конденсационных облачных следов за самолетами.....	174

## **Глава 9. Прогноз туманов..... 176**

9.1. Основные потребители прогноза туманов .....	176
9.2. Прогноз радиационных туманов.....	177
Прогноз туманов по методу Н. В. Петренко .....	178
Прогноз туманов по методу Б. В. Кирюхина.....	180
Прогноз туманов по методу А. С. Зверева .....	182
Прогноз туманов по методу Д. Н. Лаврищева.....	183
Прогноз туманов в Средней Азии .....	184
Оперативные методы прогноза радиационных туманов .....	185
Метод Р. М. Меджитова .....	188
9.3. Прогноз адвективных туманов.....	189
9.4. Прогноз туманов испарения и фронтальных туманов .....	197
9.5. Прогноз туманов при отрицательной температуре воздуха.....	200

## **Глава 10. Прогноз гроз ..... 203**

10.1. Основные потребители прогноза гроз.....	203
10.2. Условия образования и классификация гроз .....	205

10.3. Оценка готовности атмосферы к развитию конвективных возмущений .....	208
10.4. Основные методы прогноза гроз .....	210
Прогноз гроз методом частицы .....	210
Прогноз гроз по методу Н. В. Лебедевой .....	210
Прогноз гроз по методу Бейли.....	212
Прогноз гроз по методу Вайтинга .....	214
Прогноз гроз по методу Фауста.....	215
Прогноз гроз по методу Г. Д. Решетова.....	216
Прогноз гроз по методу И. А. Славина .....	217
Прогноз гроз по методу Кокса.....	218
10.5. Методы прогноза града .....	220
10.6. Методы сверхкраткосрочного прогноза систем глубокой конвекции .....	223
Линии неустойчивости (шквалов) .....	224
Гряды кучево-дождевых облаков масштаба мезо-β.....	226
Мезомасштабные конвективные комплексы .....	227
Мезоскопления кучево-дождевых облаков.....	229
Обнаружение СГК.....	229
10.7. Смерчи .....	233
<b>Глава 11. Прогноз осадков .....</b>	<b>239</b>
11.1. Основные потребители прогноза осадков.....	239
11.2. Типы осадков и их общий прогноз.....	241
11.3. Прогноз морозящих и обложных осадков .....	243
11.4. Прогноз ливневых осадков.....	247
11.5. Прогноз гололеда и гололедицы .....	248
<b>Глава 12. Прогноз видимости .....</b>	<b>254</b>
12.1. Основные потребители прогноза видимости.....	254
12.2. Прогноз видимости в дымках и туманах.....	256
12.3. Прогноз видимости в осадках .....	258
12.4. Прогноз видимости в метелях, пыльных и песчаных бурях и мгле.....	260
<b>Глава 13. Сколько стоит сообщение о погоде?.....</b>	<b>265</b>
13.1. Основные потребители прогнозов .....	265
13.2. Ориентировочная качественная оценка потерь от опасных и неблагоприятных явлений погоды .....	268
13.3. Ориентировочная количественная оценка потерь от опасных и неблагоприятных явлений погоды .....	273
<b>Заключение.....</b>	<b>277</b>
<b>Литература .....</b>	<b>278</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>281</b>





# Предисловие

В последнее время в различных отраслях народного хозяйства потребителей краткосрочных и сверхкраткосрочных прогнозов погоды становится все больше и больше. Это и работники транспорта (в первую очередь авиационного), и сельского хозяйства, и коммунальных служб городов и целых регионов, и руководители различных спортивных организаций, и работники МЧС, и военные, и многие-многие другие. Очень многих интересует прогноз погоды не только на 12—24 часа, но иногда даже на ближайшие 15—20 минут. Проблеме краткосрочных и сверхкраткосрочных прогнозов погоды и посвящена данная монография.

Авторы поставили перед собой сложную и не совсем обычную задачу. Дело в том, что, несмотря на развитие вычислительной техники и различных численных схем прогноза, в настоящее время прогнозы погоды, разработанные синоптиками, имеют более высокую оправдываемость. И, пожалуй, рано отказываться от специалистов-синоптиков и синоптической метеорологии.

Вне всякого сомнения, что за численными методами прогноза будущее, но эра "численников" наступит у нас еще не скоро. Это обусловлено как несовершенством численных моделей прогноза (ведь модель — это предположение), так и несовершенством вычислительной техники.

Почему прогнозы погоды, разработанные синоптическим методом, имеют достаточно высокую оправдываемость, зачастую превышающую оправдываемость численных методов прогноза? Дело в том, что синоптику часто приходится даже сейчас работать на таких метеостанциях, где *еще* практически нет ЭВМ, а у синоптика *уже* нет достаточных знаний по динамической метеорологии, математике и другим теоретическим дисциплинам. Вот и приходится инженеру-синоптику не от хорошей жизни совершенствовать свои навыки в синоптических методах прогноза. И эти методы дают хорошие результаты.

Причина этого, на наш взгляд, заключается в том, что синоптические методы прогноза основаны на правилах динамической метеорологии, которую си-

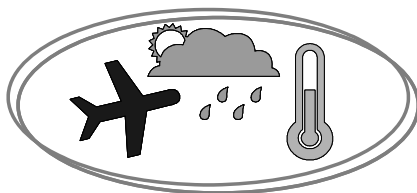
ноптик может и не помнить, но, выражаясь современным языком, технологию разработки прогноза по картам погоды такой специалист знает досконально. В результате получается, что, сам того не подозревая, синоптик часто использует не только положения и законы динамической метеорологии, но и различные численные модели прогноза.

В данной книге авторы предприняли попытку напомнить читателям основные моменты как общей, так и динамической метеорологии, по возможности связать синоптические правила с теоретическими положениями динамической метеорологии и показать современную технологию разработки краткосрочного и сверхкраткосрочного прогноза отдельных метеорологических элементов и явлений погоды.

Авторы не претендуют на полноту изложения всех вопросов, связанных с синоптической метеорологией, динамической метеорологией и численными методами прогноза. Ими рассматривались только те вопросы, которые имеют непосредственное отношение к авиационным прогнозам погоды. Авторы будут благодарны всем читателям за критические замечания и пожелания в адрес этой книги.

В данном учебном пособии "титულный автор" один — О. Г. Богаткин, но большая помощь в написании пособия автору была оказана проф. Г. Г. Таракановым. Он, кроме того, написал несколько разделов книги (*разд. 1.15, 2.4, 3.8—3.10 и 10.6*). Вот поэтому в предисловии и тексте иногда вместо слова "автор" встречается слово "авторы".

Данное издание должно быть полезно студентам и аспирантам гидрометеорологических институтов и университетов, преподавателям метеорологических дисциплин, научным работникам и синоптикам-практикам.



# ЧАСТЬ I

## Давайте вспомним

Новое — это хорошо забытое старое.  
*Соломон мудрый*

Уважаемые читатели!

Если исходить из того, что вопросы метеорологии вам знакомы, то содержание данной части книги вам покажется очень простым и понятным. Но вся беда заключается в том, что "погрязнув" в рутинной повседневной работе мы забываем основы нашей науки, основы того, на чем "держится" вся метеорология. Да, вы знаете свое дело, вы умеете разрабатывать прогнозы погоды, но на вопрос, почему вы это должны делать именно так, а не иначе, не всегда находится правильный ответ. Вот поэтому мы и решили сначала напомнить вам основные, если хотите, фундаментальные положения метеорологии, а уж потом перейти к разработке прогнозов погоды.



# ГЛАВА 1



## Разные "единицы"

В этой главе мы напомним читателям единицы измерения основных метеорологических величин, с которыми синоптик сталкивается постоянно в своей практической деятельности.

### 1.1. Единицы измерения атмосферного давления

*Атмосферное давление* — это давление, которое производит атмосфера на земную поверхность и находящиеся в атмосфере предметы. В каждой точке атмосферы атмосферное давление равно весу столба воздуха, расположенного выше данной точки (до верхней границы атмосферы) и имеющего основание, равное единице.

На уровне моря атмосферное давление близко к тому давлению, которое производит столб ртути высотой 760 мм. Атмосферное давление, эквивалентное давлению ртутного столба высотой 760 мм при температуре 0 °С, равно силе, с которой масса (76 × 13,596 г) давит на поверхность в 1 см<sup>2</sup> (13,596 г/см<sup>3</sup> — удельный вес ртути при температуре 0 °С).

Так как известно, что сила — это произведение массы на ускорение, то в системе СГС это давление будет равно

$$1033,3 \times 980,665 = 1013250 \text{ дин/см}^2 = 1013,25 \text{ мбар.}$$

Известно также, что 1 дина — это сила, которая сообщает массе в 1 г ускорение в 1 см/с<sup>2</sup>. Размерность силы в системе СГС — г · см/с<sup>2</sup>.

В системе СИ давление 1013,25 мбар эквивалентно 101 325 Па или 1013,25 гПа, а за единицу силы принят ньютон — это такая сила, которая массе 1 кг сообщает ускорение в 1 м/с<sup>2</sup>. Размерность силы в системе СИ — кг · м/с<sup>2</sup>.

Отсюда вытекают и основные единицы измерения давления:

- 1 бар = 1 000 000 дин/см<sup>2</sup> = 100 000 Па;
- 1 мбар = 0,001 бар = 1000 дин/см<sup>2</sup> = 100 Па = 1 гПа;
- 1 Па = 1 н/м<sup>2</sup> = 0,01 мбар;
- 1 мм рт. ст. = 1013250 × 760 = 1333,3 дин/см<sup>2</sup> = 4/3 мбар или 4/3 гПа, а следовательно, 1 гПа = 1 мбар = 0,75 мм рт. ст.

В настоящее время на практике наиболее распространенными величинами измерения давления в метеорологии являются гектопаскаль (гПа) и миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.).

Кроме перечисленных единиц измерения давления существуют также техническая атмосфера (ат или кг/см<sup>2</sup>): 1 ат = 98 066,5 н/м<sup>2</sup> и физическая атмосфера (атм) : 1 атм = 101 325 н/м<sup>2</sup> (760 мм рт. ст.).

### **ЭТО ИНТЕРЕСНО**

- С увеличением высоты над любой точкой земного шара атмосферное давление всегда понижается, и ни при каких обстоятельствах не бывает наоборот.
- На каждого человека, исходя из площади его тела, атмосфера "давит" силой около 15 тонн!

Мы не замечаем этой тяжести потому, что внутри каждого из нас существует такое же давление, как и в окружающем нас воздухе. Если вдруг по каким-то причинам внешнее давление резко упадет (произойдет разгерметизация кабины самолета, например), то внутреннее давление, выравняваясь с внешним, попытается "разорвать" человека. Вот поэтому при полетах в стратосфере военные летчики выполняют полеты в специальных высотно-компенсирующих костюмах.

- Во всех инструкциях и полезных советах говорится о том, что если по каким-либо причинам следует ожидать очень громкого звука, например, выстрела из пушки, то стоящим рядом людям рекомендуют приоткрыть рот. Такая рекомендация дается для того, чтобы при сильном звуке уменьшить нагрузку на барабанные перепонки. Звуковая волна от взрыва в этом случае через ушную раковину будет воздействовать на внешнюю поверхность перепонки, а через приоткрытый рот — на внутреннюю. Тем самым будет снята излишняя звуковая нагрузка на наши уши.
- Пожалуй, каждый из вас, читатели, видел или испытал на себе, как ставят так называемые медицинские банки. Напомню: сначала зажигают спиртовку, затем на короткое время перевернутую банку держат над огнем и только после этого прикладывают к нужному месту на теле. Банка пристает очень крепко и все потому, что в то время, когда ее держат над огнем, внутри банки резко увеличивается температура, а следовательно, уменьшается давление. Поэтому более высокое внешнее давление как бы "приклеивает" банку к телу. На медицинских аспектах банок мы останавливаться не будем.

## 1.2. Единицы измерения плотности воздуха

*Плотность воздуха* — это отношение его массы к объему, который он занимает. Обычно плотность воздуха выражается в граммах на метр кубический ( $\text{г/м}^3$ ). Из уравнения состояния газов для сухого воздуха можно определить его плотность. Она будет равна

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{p}{R(273 + t)}, \quad (1.1)$$

где:

- $R$  — удельная газовая постоянная сухого воздуха,  $\text{м}^2/\text{с}^2 \cdot \text{К}$  или  $\text{Дж/кг} \cdot \text{К}$ ;
- $p$  — атмосферное давление, гПа;
- $t$  — температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ .

При  $p = 1000$  гПа и  $t = 0$   $^{\circ}\text{C}$  плотность воздуха  $\rho = 1276$   $\text{г/м}^3$ . Для других значений  $p$  и  $t$  плотность воздуха может быть определена по формуле

$$p = 1276 \frac{p}{1000} (1 - \alpha t), \quad (1.2)$$

где  $\alpha = 1/273$ .

Для решения ряда практических задач вводится понятие относительной плотности воздуха ( $\Delta$ ), которая равна отношению фактической плотности ( $\rho_{\text{ф}}$ ) к плотности воздуха у земли в стандартных условиях ( $\rho_{0, \text{ст}}$ ).

$$\Delta = \rho_{\text{ф}} / \rho_{0, \text{ст}}. \quad (1.3)$$

### **ЭТО ИНТЕРЕСНО**

- В отличие от обязательного уменьшения атмосферного давления с высотой, плотность воздуха при увеличении высоты иногда может увеличиваться. Для этого необходимо, чтобы с увеличением высоты очень резко уменьшалась температура воздуха.
- Однажды в начале XX века Ф. И. Шалапин пел в каком-то шикарном ресторане в Италии. Публика была в восторге и после окончания концерта раскупила все, что находилось в том зале, где пел Шалапин. Одному богатому купцу ничего не досталось — прозевал. Тогда, находясь в состоянии "сильного подпития", он сказал хозяину ресторана, что купит воздух в этом зале. Хозяин, естественно, согласился и быстренько прикинул, что объем зала, где был концерт, равен 5000 кубометрам. Испугавшись такого большого числа "5000", но, не желая отказываться от сделки, богатый купчик сказал, что не будет покупать воздух на кубометры, а купит его по той же цене, но за килограммы. Хозяин сразу же согласился на эту замену и в результате получил за воздух почти на треть больше денег, чем думал в самом начале. Не знал богатый купец, что кубометр воздуха весит значительно больше килограмма.



### 1.3. Единицы измерения геопотенциала

Под *геопотенциалом* понимается потенциальная энергия ( $\Phi$ ) единицы массы (удельная потенциальная энергия) относительно уровня моря, определяемая положением этой массы в поле силы тяжести:

$$d\Phi = g dZ, \quad \Phi = \int_0^z g dz. \quad (1.4)$$

Геопотенциал в некоторой точке атмосферы численно равен той работе, которую нужно затратить для того, чтобы поднять единицу массы в поле силы тяжести от уровня моря до данной точки. Геопотенциал на уровне моря принимается равным нулю. Размерность геопотенциала соответствует размерности удельной работы:  $[\Phi] = \text{см}^2/\text{с}^2$ .

Значение геопотенциала в той или иной точке любой изобарической поверхности, выраженное в геопотенциальных метрах (гп. м), является геопотенциальной высотой данной поверхности. Значительно чаще, чем в геопотенциальных метрах, высота изобарических поверхностей измеряется в десятках геопотенциальных метрах (декаметрах). В сокращенном виде в последнее время десятки геопотенциальных метров обозначаются *дам*.

### 1.4. Единицы измерения температуры

Температурой воздуха является та температура, которую показывает термометр в условиях его полного контакта с атмосферным воздухом.

Для измерения температуры существуют разные температурные шкалы. Каждая шкала содержит две или более реперных точек. Общепринятыми реперными точками во всех шкалах являются точка (температура) таяния льда и точка (температура) кипения воды.

На практике используются следующие температурные шкалы:

- стоградусная шкала или шкала Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ) с реперными точками  $0^{\circ}$  и  $100^{\circ}$ ;
- шкала Фаренгейта ( $^{\circ}\text{F}$  или  $^{\circ}\text{F}$ ) с реперными точками  $32^{\circ}$  и  $212^{\circ}$ .

Для перевода значений температуры из одной шкалы в другую следует пользоваться формулами:

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}t^{\circ}\text{F} - 32, \quad (1.5)$$

$$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}t^{\circ}\text{C} + 32; \quad (1.6)$$

- абсолютная шкала с реперными точками  $273^{\circ}$  и  $373^{\circ}$  (шкала Кельвина);
- шкала Реомюра ( $^{\circ}\text{R}$ ) с реперными точками  $0^{\circ}$  и  $80^{\circ}$  (в настоящее время эта шкала практически не употребляется).

Кроме указанных выше температурных шкал, существуют международная температурная шкала, термодинамическая температурная шкала и эмпирическая температурная шкала, однако их описание выходит за рамки данной книги.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО

- Если, читая рассказы Джека Лондона о жизни на Аляске, вы обратите внимание на очень сильный холод в тех краях — не удивляйтесь, т. к. Джек Лондон во всех своих рассказах температуру воздуха указывал в градусах Фаренгейта, а по стоградусной шкале это практически обычные зимние температуры для заполярных районов, правда, все равно очень холодно.
- К стоградусной шкале измерения температуры Цельсий никакого отношения не имеет, но почти во всем мире стоградусную шкалу называют шкалой Цельсия.
- На земном шаре в любой день и любой час можно найти два пункта, в которых температура воздуха у земли отличалась бы более, чем на 100 (сто!) градусов.
- Самая высокая температура в мире ( $58,00^{\circ}\text{C}$ ) отмечалась в Мексике, самая низкая ( $-89,20^{\circ}\text{C}$ ) — на станции Восток в Антарктиде.
- В России в Оймяконе (Якутия) было  $-77,80^{\circ}\text{C}$ , а в низовьях Волги  $+42,30^{\circ}\text{C}$ .
- Однажды, после сравнительно теплой зимы в Якутии, один журналист написал, что в прошедшую зиму ртутный столбик термометра в Верхоянске не опускался ниже  $-53^{\circ}\text{C}$ . В чем журналист допустил неточность, если все так и было? Оказывается, журналист показал свою полную "физическую и метеорологическую" неграмотность. Дело в том, что ртуть замерзает при температуре  $-38,9^{\circ}\text{C}$ , и ртутный столбик в принципе не может опуститься ниже этой отметки. Более низкие температуры измеряют спиртовым, а не ртутным термометром. Вот как нужно быть осторожным, когда гонишься за "красным словцом".

## 1.5. Единицы измерения скорости и направления ветра

*Ветром* называется движение воздуха относительно земной поверхности. Обычно под ветром подразумевается горизонтальная составляющая этого движения. Движение воздуха (ветер) происходит под воздействием силы барического градиента, силы трения, отклоняющей силы вращения Земли и центробежной силы. Движущей силой является сила барического градиента.

*Направление ветра* — это направление, откуда дует ветер. Обычно направление ветра измеряют в угловых градусах или в румбах горизонта. При этом чаще всего используют восьмирумбовую шкалу (иногда применяется 4- и 16-румбовые шкалы).

Скорость ветра измеряется в метрах в секунду (м/с), километрах в час (км/ч), узлах или условных единицах (баллах). Величина скорости ветра, измеряемая в метрах в секунду (м/с) или километрах в час (км/ч), пояснений не требует. Скорость ветра, равная одному узлу, соответствует одной морской миле (1852 м) в час. Приблизительно один узел равен 0,5 м/с.

Для определения скорости (силы) ветра в условных единицах обычно используется 12-балльная шкала Бофорта. Она основана на визуальной оценке действия ветра на наземные предметы или состояние моря.

Перевод данных шкалы Бофорта в скорость ветра в метрах в секунду (м/с) приведен в табл. 1.1.

**Таблица 1.1.** Перевод скорости ветра из шкалы Бофорта в скорость ветра в м/с

Балл шкалы Бофорта	Скорость ветра, м/с	Балл шкалы Бофорта	Скорость ветра, м/с
0	0—0,2	7	13,9—17,1
1	0,3—1,5	8	17,2—20,7
2	1,6—3,3	9	20,8—24,4
3	3,4—5,4	10	24,5—28,4
4	5,5—7,9	11	28,5—32,6
5	8,0—10,7	12	> 32,7
6	10,8—13,8		

Существуют эмпирические формулы перевода скорости ветра в баллах в скорость ветра в метрах в секунду (м/с).

$$U = 2B - 1, \quad (1.7)$$

где  $B$  — балл шкалы Бофорта.

Эта формула справедлива до значения  $B \leq 8$ .

Для перевода скорости ветра в узлы используется другая формула:

$$U = 1,87\sqrt{B^3}, \quad (1.8)$$

которая справедлива для всей шкалы.

Кроме того, при визуальных судовых наблюдениях часто используют следующие понятия:

- штиль  $B = 0$ ;
- умеренный ветер  $B = 4$ ;
- сильный ветер  $B = 6$ ;
- шторм  $B = 10$ ;
- ураган  $B = 12$ .

В настоящее время наиболее распространенными единицами измерения ветра являются: для направления ветра — измерение направления ветра в угловых градусах; для скорости ветра у земли — скорость ветра в метрах в секунду (м/с) или в узлах; для скорости ветра на высотах — в километрах в час (км/ч).

Международная организация гражданской авиации (МОГА) или, как ее называют за рубежом, ICAO (International Civil Aviation Organization) рекомендует всем странам — членам ICAO для измерения скорости ветра у земли и на высотах использовать только одну единицу измерения — км/ч.

### **ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Известно, что ветер — это движение и перемещение масс воздуха. Мы мало задумываемся над тем, какие на самом деле массы воздуха переносят силы барического градиента. А между тем, если скорость ветра всего 3 м/с, то за 30 секунд каждого из нас "обдувает" масса воздуха, равная весу нашего тела. Действительно, у каждого из нас рост не меньше 1,5 м, а ширина плеч не менее 30 см. Это значит, что площадь нашего тела около  $0,5 \text{ м}^2$ . Следовательно, за одну секунду при скорости ветра в 3 м/с нас "обдует" примерно  $1,5 \text{ м}^3$  воздуха, а за 30 секунд —  $45 \text{ м}^3$ . Если учесть, что один кубометр воздуха весит 1276 г, то общая масса воздуха, которая коснется каждого из нас за полминуты, составит чуть больше 57 кг. А это как раз ваш вес.

## **1.6. Единицы измерения влажности воздуха**

Под влажностью воздуха понимается содержание водяного пара в атмосфере, которое характеризуется целым рядом величин. Основными из них являются абсолютная влажность, дефицит влажности, относительная влажность, отношение смеси, точка росы, массовая доля водяного пара (удельная влажность), упругость водяного пара и другие характеристики.

Рассмотрим отдельные характеристики влажности более подробно.

*Абсолютная влажность (a)* — одна из основных характеристик влажности. Она соответствует плотности водяного пара в воздухе, выраженной числом граммов водяного пара, содержащимся в  $1 \text{ м}^3$  воздуха ( $\text{г}/\text{м}^3$ ).

Абсолютная влажность связана с *упругостью водяного пара* ( $e$ ), которая показывает парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе. Упругость водяного пара измеряется в гектопаскалях (миллибарах) или в миллиметрах ртутного столба, как и давление воздуха.

В тех случаях, когда упругость водяного пара выражена в гектопаскалях (гПа), связь между абсолютной влажностью и упругостью водяного пара определяется соотношением

$$a = 217 \frac{e}{T} = \frac{0,8e}{1 + \alpha t}. \quad (1.9)$$

При выражении упругости водяного пара в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.) формула (1.9) принимает вид:

$$a = 289 \frac{e}{T} = \frac{1,06e}{1 + \alpha t}. \quad (1.10)$$

В обеих последних формулах  $T$  — температура воздуха (К),  $t$  — температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ), а  $\alpha = 1/273$ .

*Массовая доля водяного пара* или *удельная влажность* ( $s$ ) показывает отношение плотности водяного пара к плотности влажного воздуха или отношение веса водяного пара к весу влажного воздуха, в том же объеме массовая доля водяного пара зависит от атмосферного давления ( $p$ ) и упругости водяного пара. Эта зависимость выражается формулой:

$$s = \frac{0,623e}{p - 0,377e}, \quad (1.11)$$

где  $e$  и  $p$  должны быть выражены в одних и тех же единицах.

На практике массовая доля водяного пара выражается в граммах водяного пара на килограмм влажного воздуха (г/кг) и численно равна

$$s = \frac{623e}{p - 0,377e}. \quad (1.12)$$

*Отношение смеси* ( $r$ ) представляет собой отношение массы (веса) водяного пара к массе (весу) сухого воздуха в том же объеме, выраженное в граммах водяного пара на килограмм сухого воздуха:

$$r = 623 \frac{e}{p - e}. \quad (1.13)$$

*Точка росы* ( $t$ ) — это такая температура, при которой воздух достигает состояния насыщения (по отношению к воде) при данном содержании водяного пара и неизменном давлении. Точка росы практически всегда ниже темпера-

туры воздуха. Исключение составляют случаи, когда воздух насыщен. При этом точка росы равна температуре воздуха.

*Относительная влажность* ( $R$ ) является процентным отношением фактической упругости водяного пара в атмосфере ( $e$ ) к упругости насыщающего водяного пара ( $E$ ) при той же температуре:

$$R = \frac{e}{E} \cdot 100, \% \quad (1.14)$$

Относительную влажность можно так же определить, как отношение фактической абсолютной или удельной влажности к абсолютной или удельной влажности при насыщении при той же температуре воздуха.

*Дефицит влажности* ( $d$ ) — это разность между насыщающей и фактической упругостью водяного пара при данных температуре и давлении:

$$d = E - e \quad (1.15)$$

*Дефицит точки росы* (*дефицит температуры точки росы*) показывает разность между фактической температурой воздуха и температурой точки росы. Численно он равен

$$D = t - \tau \quad (1.16)$$

В зависимости от решаемых задач на практике используются различные характеристики влажности. В интересах разработки краткосрочных и сверхкраткосрочных прогнозов погоды наибольшее распространение получили такие единицы, как абсолютная влажность, массовая доля водяного пара (удельная влажность), точка росы, относительная влажность и дефицит температуры точки росы. О конкретном использовании той или иной единицы измерения влажности при разработке прогнозов погоды будет указано далее.

### **ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Известно, что водяной пар (не вода!) легче сухого воздуха. Поэтому, если вы хотите поскорее высушить какой-нибудь сосуд, например, банку, то ее нужно поставить так, чтобы горловина банки была направлена вверх. В этом случае более легкий водяной пар имеет возможность беспрепятственно подниматься вверх, и банка высохнет быстрее, чем при любом другом ее положении.

## **1.7. Единицы измерения величины перегрузки воздушных судов, обусловленные турбулентностью**

Интенсивность турбулентности оценивается значениями перегрузок ( $n$ ), которые испытывает воздушное судно (ВС). Под перегрузкой понимается от-

ношение подъемной силы ВС в данный момент времени ( $Y$ ) к подъемной силе горизонтального полета ( $Y_0$ ). Следовательно,

$$n = \frac{Y}{Y_0}, \quad (1.17)$$

где  $n$  — интенсивность перегрузки.

Так как подъемную силу в любой момент времени  $Y$  можно представить как подъемную силу горизонтального полета  $Y_0$  и ее приращение  $\Delta Y$ , то выражение (1.17) можно записать иначе:

$$n = \frac{Y}{Y_0} = \frac{Y_0 + \Delta Y}{Y_0} = 1 + \frac{\Delta Y}{Y_0}. \quad (1.18)$$

На практике обычно используется не величина перегрузки ( $n$ ), а величина приращения перегрузки ( $\Delta n$ ), равная

$$\Delta n = n - 1 = \frac{\Delta Y}{Y_0}. \quad (1.19)$$

Из физики известно, что любая сила равна произведению массы тела на его ускорение, а по законам аэродинамики подъемная сила горизонтального полета должна быть равна весу воздушного судна. Если обозначить массу ВС через  $m_{\text{вс}}$ , а его ускорение —  $j_{\text{вс}}$ , то выражение (1.19) примет вид:

$$\Delta n = \frac{\Delta Y}{Y_0} = \frac{m_{\text{вс}} j_{\text{вс}}}{m_{\text{вс}} g} = \frac{j_{\text{вс}}}{g}, \quad (1.20)$$

где  $g$  — ускорение силы тяжести.

Из последнего выражения видно, что приращение перегрузки, вызывающее болтанку ВС, является безразмерной величиной и измеряется в долях ускорения силы тяжести (в долях  $g$ ). Принято считать, что если  $|\Delta n| < 0,5$ , то перегрузка (болтанка) слабая. Если  $0,5 < |\Delta n| < 1$ , отмечается умеренная болтанка, а при  $|\Delta n| > 1$  — сильная.

## 1.8. Единицы измерения облачности

В специализированных (авиационных) прогнозах погоды в качестве характеристик облачности указывается их количество, форма и высота нижней и верхней границ. Если форма облаков единиц измерения не имеет, то остальные ее характеристики могут быть измерены количественно.

Для определения количества облаков могут использоваться баллы или октанты (в авиационных прогнозах погоды используются октанты, а практически во всех остальных прогнозах — баллы). При измерении количества облаков в баллах весь небосвод делится на 10 частей, и степень закрытия неба облаками может изменяться от 0 (ясная погода) до 10 баллов (сплошная облачность). В тех случаях, когда количество облаков измеряют в октантах, количество облаков меняется от 0 до 8 октантов.

Перевод количества облаков из баллов в октанты и обратно осуществляется следующим образом:

Октанты	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Баллы	0	1	2-3	4	5	6	7—8	9	10

Высота нижней и верхней границы облаков измеряется в метрах или километрах, а в ряде стран могут быть указаны даже футы. Если высоты облаков указываются в метрах, то обычно высота нижней границы облаков округляется до десятков, а верхней границы — до сотен метров.

Иногда в прогнозах погоды и в обиходе для определения количества облаков используются следующие выражения:

- безоблачно — 0—1 балл облаков;
- малооблачно — 2—3 балла облаков;
- переменная облачность — 4—7 баллов облаков;
- значительная облачность — 8—9 баллов облаков;
- сплошная облачность — 10 баллов облаков.

### **ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Иногда бывает даже трудно себе представить, при какой сложной погоде летают самолеты гражданской авиации. А между тем на больших аэродромах современные самолеты могут производить посадку при высоте нижней границы облаков в 30 м. Представьте себе, что перед вами стоит четырнадцатизэтажный дом. Высота каждого этажа примерно равна трем метрам. А это значит, что самолет может произвести безопасную посадку на аэродром даже в том случае, когда одиннадцатый этаж дома будет в облаках.

## **1.9. Единицы измерения видимости**

Под *видимостью* (метеорологической дальностью видимости) понимается наибольшее расстояние, с которого можно различить (обнаружить) на фоне неба вблизи горизонта черный объект с угловыми размерами больше



15 минут. В ночное время видимость — это расстояние, на котором при существующей прозрачности атмосферы такой объект можно было бы обнаружить в дневное время.

В зависимости от значений видимость измеряется в метрах с округлением до десятков или сотен метров или в километрах. Кроме того, визуальная оценка видимости может производиться в условных баллах. Шкала видимости в баллах выглядит следующим образом:

Баллы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Видимость, км	<0,05	0,05—0,2	0,2—0,5	0,5—1,0	1—2	2—4	4—10	10—20	20—50	>50

В настоящее время определение видимости в баллах практически не производится.

Представляет интерес табл. 1.2, в которой приводятся значения видимости при визуальной оценке интенсивности того или иного метеорологического явления.

**Таблица 1.2.** Значения видимости (м) при различной интенсивности явлений погоды

Атмосферное явление	Интенсивность явления		
	сильная	умеренная	слабая
Ливневый дождь	500—1000	2000—4000	4000—10000
Ливневый снег	100—500	500—1000	1000—4000
Метель	< 50	50—500	500—000
Морось	1000—2000	2000—4000	4000—10000
Общая метель	< 1000	1000—2000	2000—4000
Снег, крупа	500—2000	2000—4000	4000—10000
Дымка	1000—2000	2000—4000	4000—10000
Мгла	< 1000	1000—2000	2000—6000
Низовая метель	1000—2000	2000—4000	4000—10000
Пыльная буря	< 1000	1000—2000	2000—4000
Туман	50—200	200—500	500—1000

Значений видимости, приведенных в таблице, следует придерживаться при консультации потребителей о фактической и ожидаемой погоде.

### ***ЭТО ИНТЕРЕСНО***

---

По существующему положению в тех случаях, когда видимость на метеостанции определяется визуально, потребителям указывается видимость до самого дальнего видимого ориентира. На северо-востоке России есть пункты (метеостанции), где из-за географических условий имеется очень небольшое количество ориентиров видимости, в результате чего иногда могут возникать не только курьезные, но и порой конфликтные ситуации. Например, на одном из аэродромов на севере Дальнего Востока можно проводить полеты только при видимости 3 и более километров, а ориентиры видимости практически отсутствуют. Есть только жилой дом на расстоянии 2 км и сопка на удалении 20 км. Так вот, когда на аэродроме начинает идти слабый снег, и сопка становится не видна, то наблюдатель обязан указывать видимость только 2 км (до самого дальнего видимого ориентира), даже если она больше 10 км. А при видимости в 2 км на аэродроме нельзя летать. Таким образом возникает конфликтная ситуация между метеослужбой и специалистами гражданской авиации, которая через достаточно продолжительное время была разрешена после организации инструментальных наблюдений за видимостью.

## **1.10. Единицы измерения осадков**

В качестве характеристик осадков используются обычно два критерия: вид и интенсивность. Вид осадков всегда определяется визуально, а единицей измерения их интенсивности является величина слоя осадков, выпадающих за единицу времени (как правило, за 1 час или за сутки). Сама же величина слоя выпавших осадков всегда измеряется в миллиметрах. Иногда замеряют количество осадков, выпавших не за единицу времени, а при прохождении или сильного ливня, или атмосферного фронта.

Кроме количественной оценки интенсивности осадков существует визуальная оценка их интенсивности, которая производится по ухудшению видимости в явлениях. Интервалы значений видимости при различной интенсивности осадков приведены в табл. 1.2.

### ***ЭТО ИНТЕРЕСНО***

---

- Трудно себе представить, много или мало выпало осадков, если известно, что их выпало, предположим, 15 мм. А если немножко поразмыслить, то оказывается, что 15 мм осадков — это такое количество, что на каждый квадратный метр поверхности приходится 1,5 ведра воды. Теперь уже можно говорить, что такое количество осадков для одного дождя можно считать достаточно большим.
- Самое "мокрое место" в мире находится в Индии на южных склонах Гималаев. Там за год выпадает 14 000 мм осадков! Это очень много!

- По классификации Э. Ю. Берга, *ливень* — это дождь с интенсивностью, равной или более 0,38 мм/мин, продолжительностью не менее 10 минут.
- Снегопад с интенсивностью не менее 7 мм за 12 часов является опасным явлением погоды для автотранспорта.

## 1.11. Единицы измерения интенсивности обледенения и гололеда

*Обледенением* называется отложение льда на внешней поверхности воздушного судна. Под интенсивностью обледенения понимается масса льда, отлагающегося в полете на единице поверхности в единицу времени. В авиации за интенсивность обледенения принимают обычно толщину слоя льда, отлагающегося в единицу времени. В качестве единицы измерения интенсивности обледенения используется величина  $I$ , имеющая размерность мм/мин.

Обледенение считается слабым, если  $I < 0,5$  мм/мин, умеренным, если  $0,5 < I < 1,0$  мм/мин и сильным, если  $I > 1,0$  мм/мин.

*Гололед* — отложение льда на предметах или на поверхности земли, обусловленное осадением и замерзанием переохлажденных капель или капель при отрицательных температурах воздуха.

Интенсивность гололеда определяется толщиной (мм) слоя отложившегося льда. Если слой льда меньше 5 мм, то гололед отмечается как слабый, если слой льда 5—20 мм — умеренный, 20—50 мм — сильный и больше 50 мм — очень сильный гололед. В соответствии с принятой классификацией гололед с интенсивностью более 20 мм относится к особо опасным явлениям погоды.

### **ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Известны случаи, когда после посадки самолета на нем наблюдался слой льда толщиной в 13 см. Если представить, что так обледенел самолет Ту-154, площадь крыльев которого 200 м<sup>2</sup>, а площадь всего самолета около 500 м<sup>2</sup>, то на этом самолете был бы "привезен" лед, объемом в 65 м<sup>3</sup> и весом около 50 тонн! Но очень хорошо, что обледенению подвержены, в основном, только лобовые части самолетов и на самолете установлена антиобледенительная система.

## 1.12. Единицы работы и энергии

Единицей работы и энергии в системе СГС (сантиметр, грамм, секунда) является 1 эрг. Эрг — это работа, совершаемая силой в 1 дину (см. разд. 1.1) на пути в 1 см. Размерность работы и энергии в системе СГС — г · см<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>.

В международной системе единиц СИ и в системе МКС (метр, килограмм, секунда) за единицу силы принят 1 джоуль. Размерность джоуля — кг · м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>. В соответствии с размерностью 1 Дж = 10<sup>7</sup> эрг.

В технической системе единиц МКГСС (метр, килограмм-сила, секунда) единицей работы является 1 килограммометр (1 кг · м), который равен

$$1 \text{ кг} \cdot \text{м} = 9,81 \text{ Дж.}$$

Важной практической единицей работы является ватт-час (Вт · ч).  
1 Вт · ч = 3600 Дж.

Так как для повышения температуры любого тела затрачивается энергия, то из этого следует, что единицы измерения теплоты и энергии одинаковы: в системе СГС — 1 эрг, в системах СИ и МКС — 1 Дж.

На практике широкое распространение получила внесистемная единица теплоты — калория. Одна калория (1 кал) равна количеству тепла, необходимому для нагрева 1 г воды на 1 градус в интервале температур от 19,5 до 20,5 °С.

$$1 \text{ кал} = 4,1868 \text{ Дж.}$$

### 1.13. Единицы измерения потока и притока тепла (энергии)

В метеорологии часто используются понятия *потока* и *притока* тепла или энергии. Количество тепла (энергии), проходящее через единицу поверхности в единицу времени, называется *потоком* тепла. Эта величина измеряется в джоулях в секунду на метр квадратный (Дж/с · м<sup>2</sup>) или в ваттах на метр квадратный (Вт/м<sup>2</sup>).

Разность между входящим в некоторый объем воздуха и выходящим из него потоком тепла (энергии) называется *притоком* тепла или энергии. Обычно приток тепла рассчитывается на единицу массы воздуха и поэтому измеряется в джоулях в секунду на метр квадратный на килограмм (Дж/с · м<sup>2</sup> · кг) или в ваттах на метр квадратный на килограмм (Вт/м<sup>2</sup> · кг).

### 1.14. Единицы мощности

Как известно, *мощность* — это работа в единицу времени, поэтому в системе единиц СГС мощность измеряется в эргах в секунду и имеет размерность г · см<sup>2</sup>/с<sup>3</sup>.

В системе единиц СИ и МКС за единицу мощности принят 1 ватт, равный

$$10^7 \text{ эрг/с, а в системе МКГСС — } 1 \text{ кГ} \cdot \text{м/с} = 9,81 \text{ Вт.}$$

На практике часто используется так называемая внесистемная единица — лошадиная сила, которая равна: 1 л. с. = 735,5 Вт = 75 кГ · м/с.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО

Мощность в одну лошадиную силу может развить физически сильный человек в те моменты, когда он почти бегом поднимается вверх по лестнице. На самом деле, если подниматься со скоростью пять ступенек в секунду (каждая ступенька имеет высоту примерно 20 см), то человек весом в 75 кг как раз и разовьет мощность в одну лошадиную силу.

## 1.15. Единицы измерения световых величин

Единицей *силы света* в системе СИ служит *кандела* (*кд*), которую до 1970 года называли *свечой* (*св*). Кандела — сила света, испускаемого с площади  $1/600\,000\text{ м}^2$  сечения полного излучателя, в перпендикулярном к этому сечению направлении при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины при нормальном атмосферном давлении.

Единицей *светового потока* является *люмен*. 1 люмен (лм) — световой поток, испускаемый точечным источником света с силой света в 1 канделу (свечу) в телесный угол, равный 1 стерadianу.

Единицей *световой энергии* является *люмен в секунду* (*лм · с*), а единицей *светимости* — люмен на квадратный метр (*лм/м<sup>2</sup>*).

*Освещенность* всегда измеряется в *люксах* (*лк*). 1 люкс — это освещенность поверхности сферы радиусом в 1 метр, создаваемая находящимся в ее центре точечным источником света, сила света которого равна 1 канделе (свече).

*Количество освещения* определяется в люксах за секунду (*лк · с*), а *яркость света* — в канделах на квадратный метр (*кд/м<sup>2</sup>*) или *св/м<sup>2</sup>*.

## 1.16. Единицы измерения уровня звукового давления

*Уровень звукового давления* (*L*) измеряется в *белах* (*Б*) или *децибелах* (*дБ*). Этот уровень определяется по формуле:

$$L = 2k \lg \frac{P_{\text{эфф}}}{P_0^*}, \quad (1.21)$$

где *k* — коэффициент пропорциональности, *k* = 1 при измерениях звукового давления в белах и *k* = 10 при измерениях в децибелах; *P<sub>эфф</sub>* — эффективное давление звуковой волны; *P<sub>0</sub><sup>\*</sup>* — условный порог звукового давления, равный *P<sub>0</sub><sup>\*</sup>* =  $2 \cdot 10^{-5}$  н/м<sup>2</sup>. Эту величину иногда еще называют *стандартным порогом слышимости* и определяют для частоты 1000 Гц.

## 1.17. Приставки для обозначения кратных единиц

На практике часто приходится пользоваться не только основными единицами измерения, но и их производными, которые отличаются от основной единицы на несколько порядков. Каждая такая производная единица имеет свое название, но не всегда мы все эти единицы хорошо представляем. Например, ни у кого не вызывает сомнения такая величина, как сантиметр или килограмм, но вот что такое пикофарада или гигакалория сразу ответит далеко не каждый. Все приставки для обозначения кратных единиц приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Приставки для обозначения кратных единиц

Наименование	Коэффициент	Сокращенное обозначение	
		русское	международное
Пико	$10^{-12}$	п	p
Нано	$10^{-9}$	н	n
Микро	$10^{-6}$	мк	μ
Милли	$10^{-3}$	м	m
Санتي	$10^{-2}$	с	c
Деци	$10^{-1}$	д	d
Дека	10	да	da
Гекто	$10^2$	г	H
Кило	$10^3$	к	K
Мега	$10^6$	М	M
Гига	$10^9$	Г	G
Тера	$10^{12}$	Т	T

Эти значения кратных единиц, может быть, и не обязательно все знать на память, но такую табличку следует всегда иметь под рукой и уметь ею пользоваться.

### **ЭТО ИНТЕРЕСНО**

Попробуйте сосчитать, какое количество воды можно нагреть от 0 до 100 °С, затратив при этом всего 1 Гкал тепла? (Если вы все сосчитали правильно, то у вас должно получиться 10 м<sup>3</sup>.)