Авиационная метеорология

Л.1: Атмосфера Земли

Общие сведения об атмосфере Земли

Состав Атмосферы

Строение атмосферы

Стандартная атмосфера

Физические характеристики атмосферы и их влияние на полеты ВС

Метеорология – наука о физических процессах и явлениях в атмосфере Земли и их взаимодействии с земной поверхностью и космической средой. Сам термин «метеорология» произошел от двух греческих слов: «метеор», что означало всякое небесное явление (движение звезд, облаков и т.п.), и «логос» - изучение, познание.

Практическая деятельность ставит перед метеорологией задачу познания законов, которым следуют атмосферные процессы

Развитие метеорологии как науки привело к оформлению отдельных крупных разделов в самостоятельные научные дисциплины. Среди них сформировалась серия прикладных дисциплин, таких как авиационная метеорология, агрометеорология, морская метеорология и медицинская метеорология.

Авиационная метеорология — это наука, изучающая влияние метеорологических факторов на деятельность авиации, разрабатывающая теоретические основы и практические вопросы метеорологического обеспечения полетов.

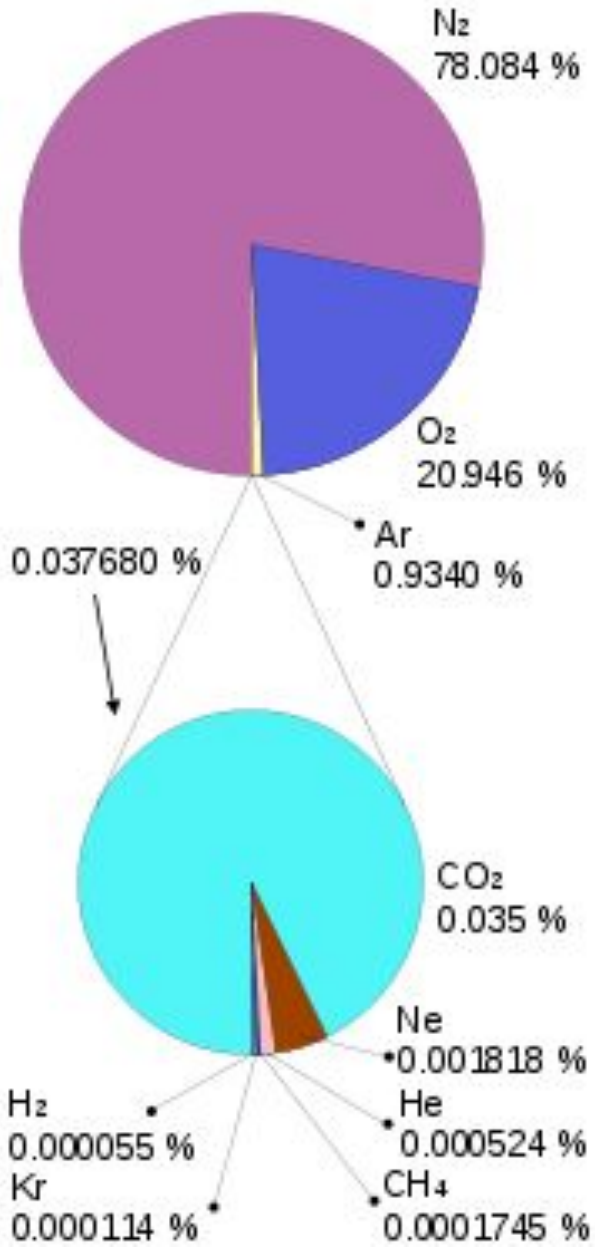
Атмосфера – газовая (воздушная) оболочка Земли, представляющая собой механическую смесь газов и коллоидных примесей (пыли, кристаллов, капелек). Данная смесь газов называется воздухом.

Вертикальная протяженность атмосферы составляет 60- 70 тыс. км. Резкой верхней границы атмосферы не существует, она постепенно переходит в межпланетную среду. Общая масса атмосферы приближенно оценивается в 5,15 10^{18} кг, что составляет примерно одну миллионную массы Земли.

Примерно 50 % всей массы атмосферы заключено в слое от земной поверхности до высоты 5 км, 75 % — до высоты 10 км, 90 % — до 16 км, 95 % — до 20 км, около 99 % — до высоты 30—35 км.

Незначительная толщина основного (по массе) слоя атмосферы по сравнению с ее горизонтальной протяженностью приводит к тому, что вертикальные масштабы наблюдаемых в атмосфере явлений и процессов оказываются значительно меньше горизонтальных: воздушные массы, циклоны и антициклоны, фронтальные поверхности по горизонтали занимают области в сотни и тысячи километров, а по вертикали распространяются лишь на несколько километров.

Состав атмосферы



Воздух гомосферы однороден по составу входящих в него газов, которые находятся в молекулярном состоянии. По объему он содержит:

Газ	Объемное содержание, %
Азот (N_2)	78,084
Кислород (O_2)	20,946
Аргон (Ar)	0,934
Углекислый газ (CO_2)	0,033
Неон (Ne)	$1,818*10^{-3}$
Гелий (He)	$5,239*10^{-4}$
Криптон (Kr)	$1,14*10^{-4}$
Водород (H_2)	$5*10^{-5}$

Строение атмосферы

Атмосфера по своим физическим свойствам неоднородна как по вертикали, так и по горизонтали. Изменяются такие физические величины, как температура, давление, плотность, состав и влажность воздуха, содержание твердых и жидких примесей, скорость ветра. Наиболее резко они изменяются по вертикали. Вследствие этого при делении атмосферы на первое место выступает неоднородность её свойств по вертикали.

Признаки деления атмосферы на слои в вертикальном направлении

Термический режим атмосферы (распределение температуры по высоте)

Состав атмосферного воздуха и наличие заряженных частиц

Характер взаимодействия атмосферы с земной поверхностью

Влияние атмосферы на летательные аппараты

По составу воздуха атмосфера делится

Гомосфера (от земной поверхности до 95 км)

Гетеросфера (на высотах более 95 км)

По этому же признаку в атмосфере выделяют ***озоносферу*** (20—55 км) , в которой сосредоточена основная масса озона.

Начиная с высоты 50—60 км, в атмосфере резко увеличивается содержание заряженных частиц (ионов и электронов). Вследствие этого слой атмосферы, расположенный выше указанного уровня, называется ***ионосферой***.

По признаку взаимодействия атмосферы с земной поверхностью

Пограничный слой (слой трения) – от земли до 1-1,5км

Свободная атмосфера

Приземный слой атмосферы – от земли до 50-100м

В пограничном слое (высотой до 1—1,5 км) на характер движения большое влияние оказывают земная поверхность и силы турбулентного трения. В этом слое хорошо выражены суточные изменения метеорологических величин.

В пределах пограничного слоя метеорологические величины (например, температура и скорость ветра) резко изменяются с высотой.

В свободной атмосфере (на высотах более 1—1,5 км) в первом (достаточно грубом) приближении силами турбулентного трения можно пренебречь.

По влиянию атмосферы на летательные аппараты

Плотные слои (или собственно атмосферу) – до 150 км

Околоземное космическое пространство – свыше 150 км

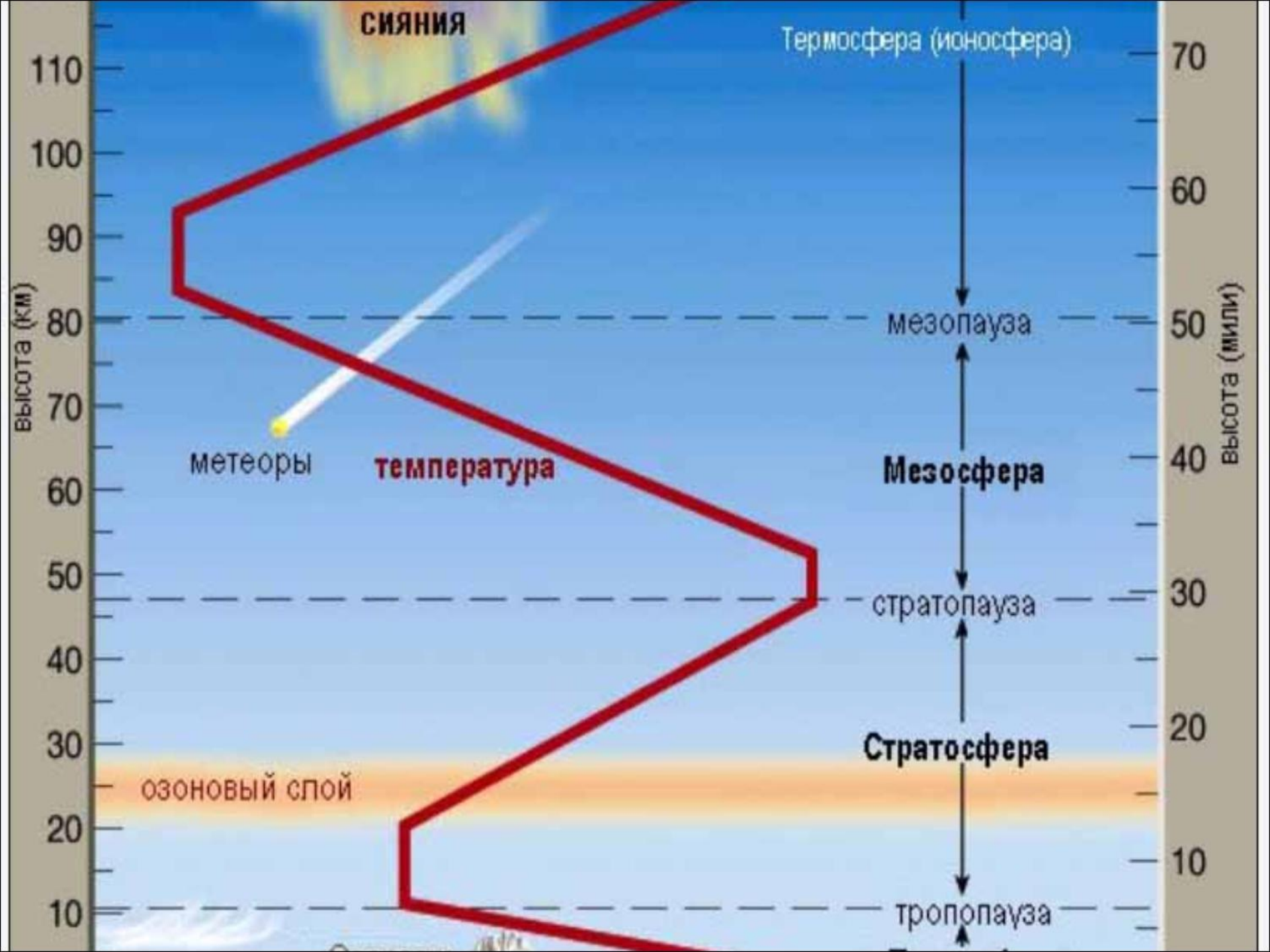
Сопротивление плотных слоев атмосферы настолько велико, что в пределах этих слоев летательный аппарат с выключенной двигательной установкой не может совершить хотя бы один оборот вокруг Земли (потеряет скорость или сгорит).

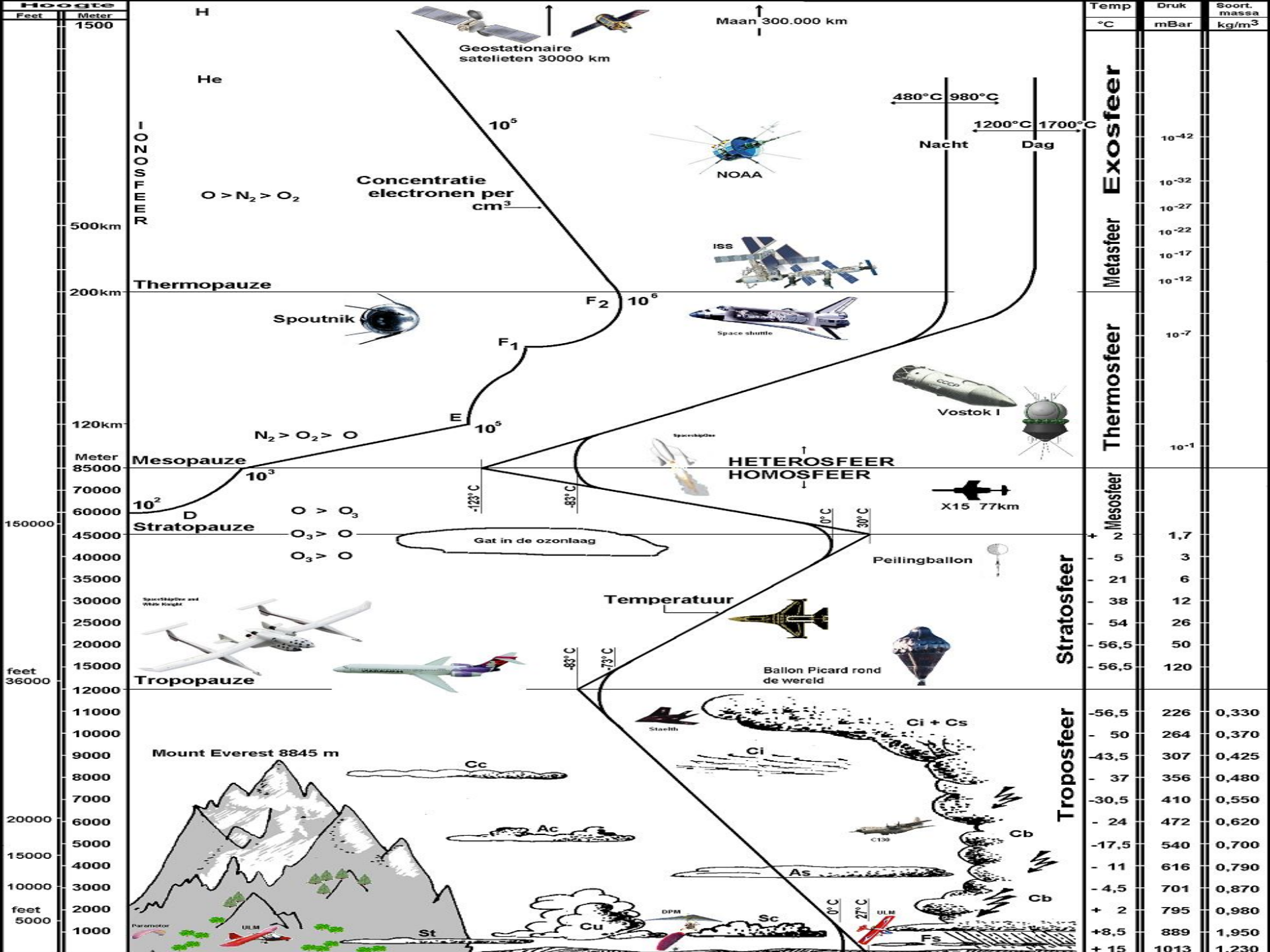
В то же время на высотах более 150 км время существования ИСЗ превышает время, необходимое для совершения одного оборота (при этом оно тем больше, чем выше располагается орбита). На основании этого полеты ИСЗ называют космическими, хотя орбиты большинства запущенных до настоящего времени ИСЗ лежат в пределах атмосферы.

Строение атмосферы

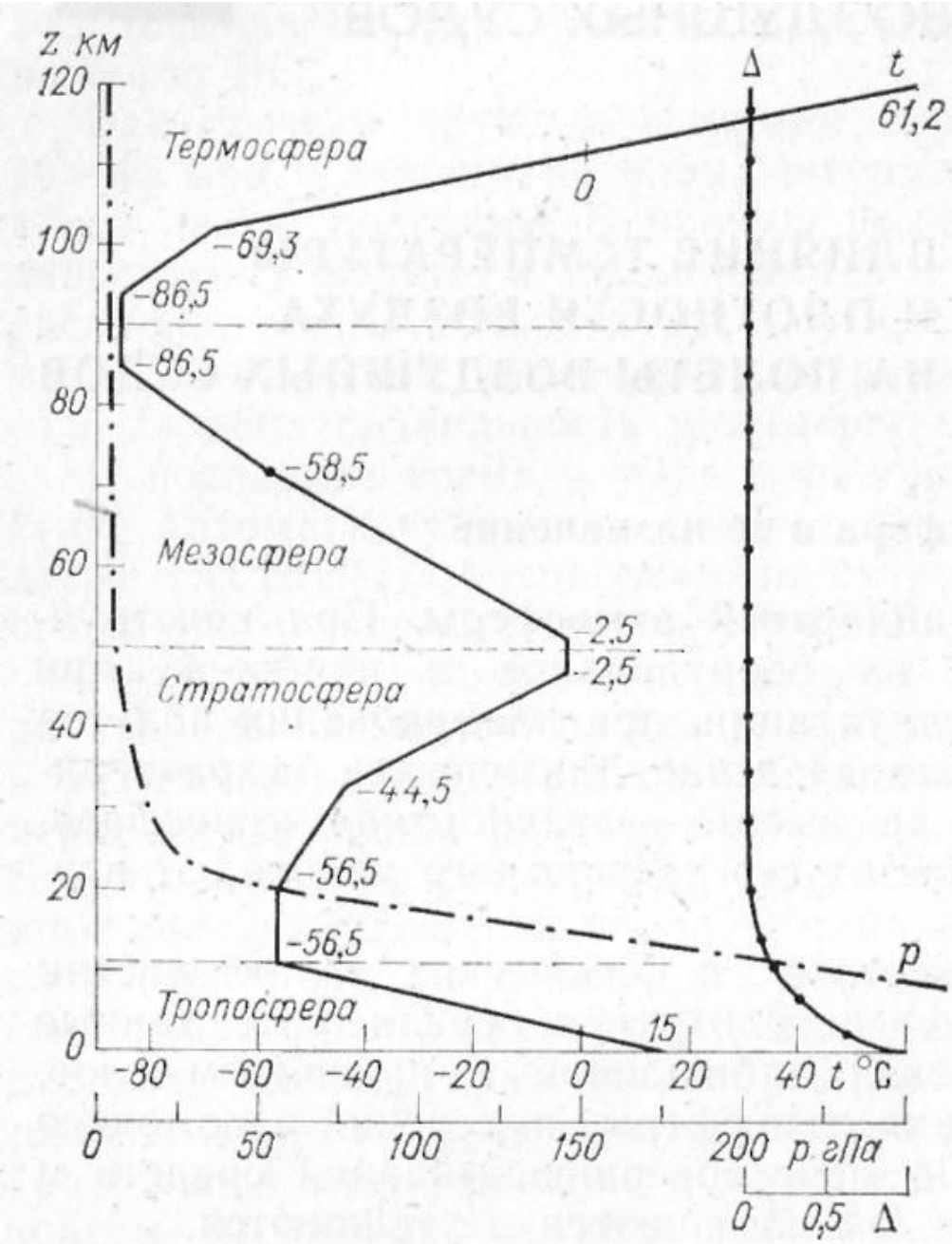
Наиболее отчетливо различие в свойствах слоев атмосферы проявляется в **характере изменения температуры воздуха с высотой**. По этому признаку атмосфера делится на пять основных слоев.

Слой	Средняя высота верхней и нижней границ, км	Переходный слой
Тропосфера	0-11	Тропопауза
Стратосфера	11-50	Стратопауза
Мезосфера	50-90	Мезопауза
Термосфера	90-450	Термопауза
Экзосфера	>450	-


сияния
Термосфера (ионосфера)
мезопауза
метеоры
температура
Мезосфера
стратопауза
Стратосфера
озоновый слой
тропопауза
высота (км)
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
высота (мили)
70
60
50
40
30
20
10


Hoogte
Feet
Meter
Temp
°C
Druk
mBar
Soort. massa
kg/m3
H
He
Geostationaire satelieten 30000 km
Maan 300.000 km
IONOSFEER
O > N2 > O2
Concentratie electronen per cm3
10^5
10^6
F2
F1
E
D
480°C 980°C
1200°C 1700°C
Nacht
Dag
NOAA
ISS
Spoutnik
Space shuttle
Vostok I
Thermopauze
Mesopauze
Stratopauze
Tropopauze
N2 > O2 > O
10^3
10^2
O > O3
O3 > O
O3 > O
Gat in de ozonlaag
HETEROSFEER
HOMOSFEER
X15 77km
Peilingballon
Temperatuur
Ballon Picard rond de wereld
Mount Everest 8845 m
Cc
Ac
Ci
Ci + Cs
Cb
As
Cu
Sc
St
Fs
Exosfeer
Metasfeer
Thermosfeer
Mesosfeer
Stratosfeer
Troposfeer
1500
500km
200km
120km
150000
feet 36000
20000
15000
10000
feet 5000
85000
70000
60000
45000
40000
35000
30000
25000
20000
15000
12000
11000
10000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
-123° C
-83° C
0° C
30° C
-63° C
-73° C
27° C
+ 2 1,7
- 5 3
- 21 6
- 38 12
- 54 26
- 56,5 50
- 56,5 120
-56,5 226 0,330
- 50 264 0,370
-43,5 307 0,425
- 37 356 0,480
-30,5 410 0,550
- 24 472 0,620
-17,5 540 0,700
- 11 616 0,790
- 4,5 701 0,870
+ 2 795 0,980
+8,5 889 1,950
+ 15 1013 1,230
10^-42
10^-32
10^-27
10^-22
10^-17
10^-12
10^-7
10^-1

Стандартная атмосфера



При конструировании ВС, их оборудования и приборов, при оценке возможностей их эксплуатации, при планировании полетов применяется осредненное распределение физических характеристик состояния атмосферы по высоте — стандартная атмосфера. Это распределение не зависит от географического района, от времени года и суток.

В настоящее время действует ГОСТ 4401—81 (СА—81), которая соответствует международной стандартной атмосфере. СА—81 определяет средние значения основных метеорологических параметров в диапазоне высот от минус двух до 120 км для широты 45°32'33", соответствующие среднему уровню солнечной активности. Атмосфера считается неподвижной относительно поверхности земли (ветер отсутствует).

На уровне моря основные физические параметры СА—81 принимают следующие значения: давление p_0= 1013,25 гПа = 760 мм рт. ст., температура воздуха T_0 = 15°С=288,15К, молярная масса воздуха M_0 = 28,96 кг/кмоль, ускорение свободного падения go=9,80665 м/с^2.

СА широко применяется при решении научно-практических задач, в том числе при конструировании и эксплуатации воздушных судов. Возникающие в полете аэродинамические силы, сила тяги двигателя и расход топлива, а также скорость, предельно допустимая высота полета и показания некоторых аэронавигационных приборов могут значительно изменяться в условиях реальной атмосферы, параметры которой отклоняются зачастую от стандартных.

Использование СА при решении научно-прикладных задач

I-й тип: задачи, связанные с приведением результатов летных испытаний ВС к стандартным атмосферным условиям

II-й тип: задачи, связанные с учетом отклонений реальных значений метеопараметров от стандартных для оценки фактических летно-эксплуатационных характеристик ВС

Физические характеристики атмосферы

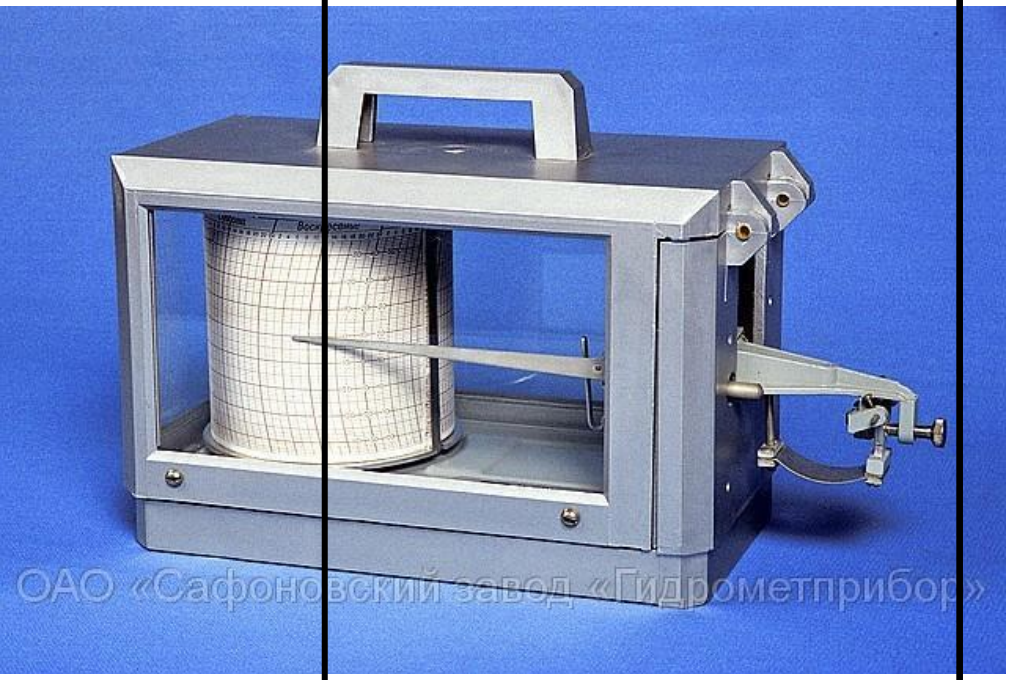
Состояние атмосферы определяется рядом физических характеристик (параметров). Основными из них являются температура, влажность, давление, плотность воздуха.

Температура воздуха – характеристика теплового состояния равная средней кинетической энергии движения молекул и атомов, составляющих воздух [ºС, ºК].

Для измерения температуры применяются термометры.

Для непрерывной записи температуры воздуха используются суточные и недельные термографы.

Температура воздуха



На метеорологических площадках термометры и термографы устанавливаются в метеорологических будках на высоте 2м от поверхности земли. Метеорологическая будка должна хорошо вентилироваться и защищать установленные в ней приборы от непосредственного воздействия солнечных лучей. Температура для практических целей измеряется с точностью 0,1°С

Изменения температуры воздуха

- временные
  - суточные
  - годовые
- пространственные
  - непериодические

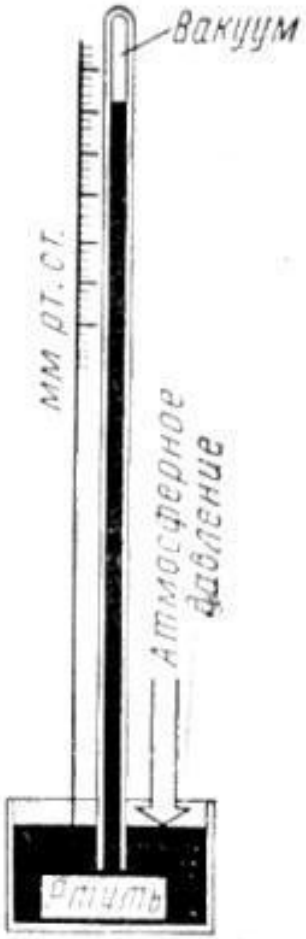
Атмосферное давление

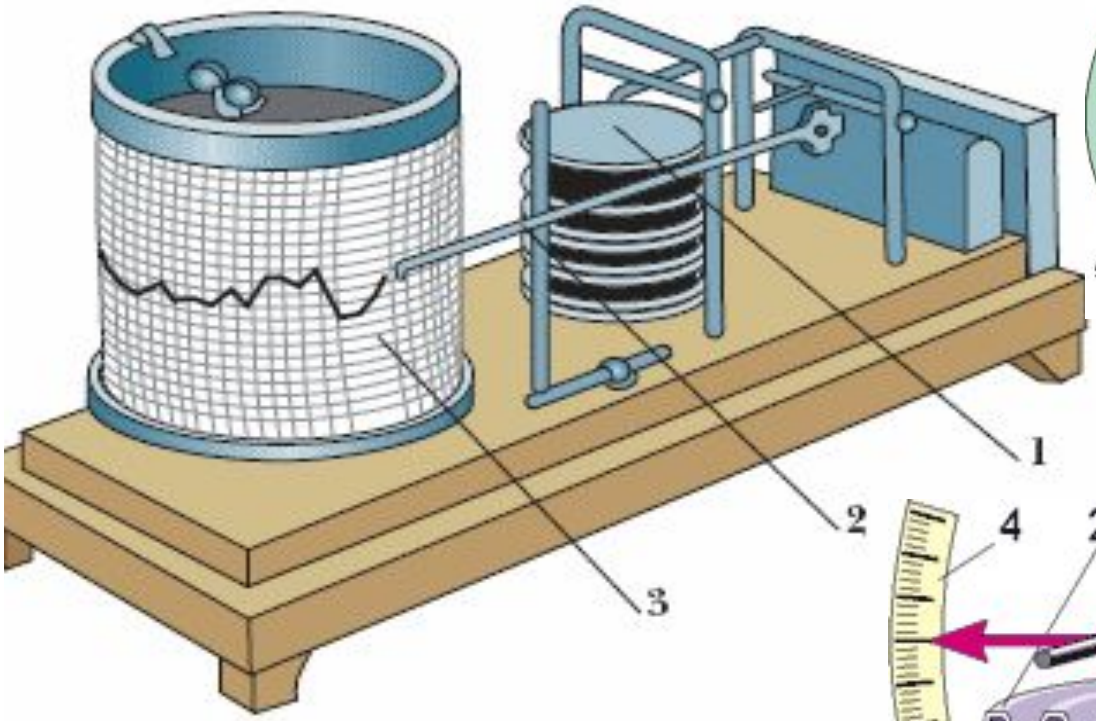
Атмосферным давлением называется сила, действующая на единицу горизонтальной поверхности и равная весу столба воздуха, простирающегося от данной поверхности до верхней границы атмосферы [гПа, мм рт. ст., мбар].

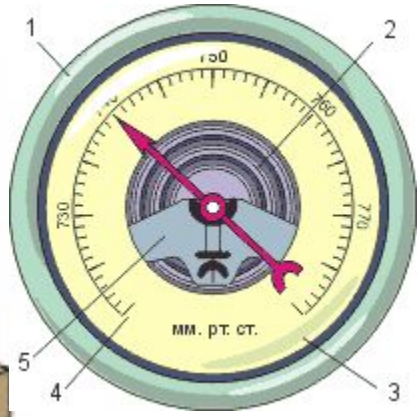
1мм.рт.ст.=1,333мбар=4/3мбар=133,3Па=1,33гПа

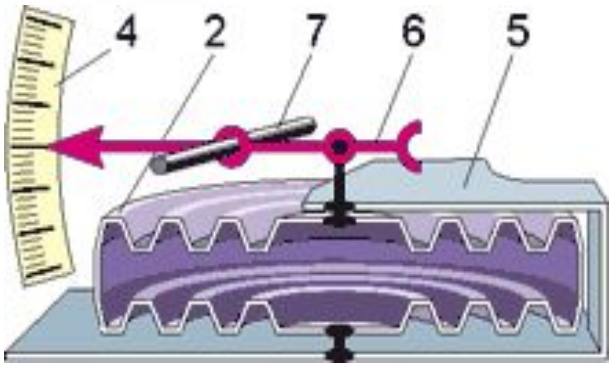
На метеостанциях вычисляется также барическая тенденция – изменение давления за последние 3 часа.

Для того чтобы иметь возможность сравнивать давление в различных пунктах, его приводят к одному исходному уровню – уровню моря.









Для характеристики изменения давления с высотой и по горизонтали используется **барический градиент** – изменение давления на единицу расстояния.

Барическая ступень – это такая высота, на которую нужно подняться или опуститься, чтобы давление изменилось на единицу.

Общий закон изменения давления с высотой выражается формулой:

$$p_h = p_0 \cdot \exp^{-\frac{g \cdot H}{R \cdot T_{cp}}}$$

где:

g - ускорение свободного падения;

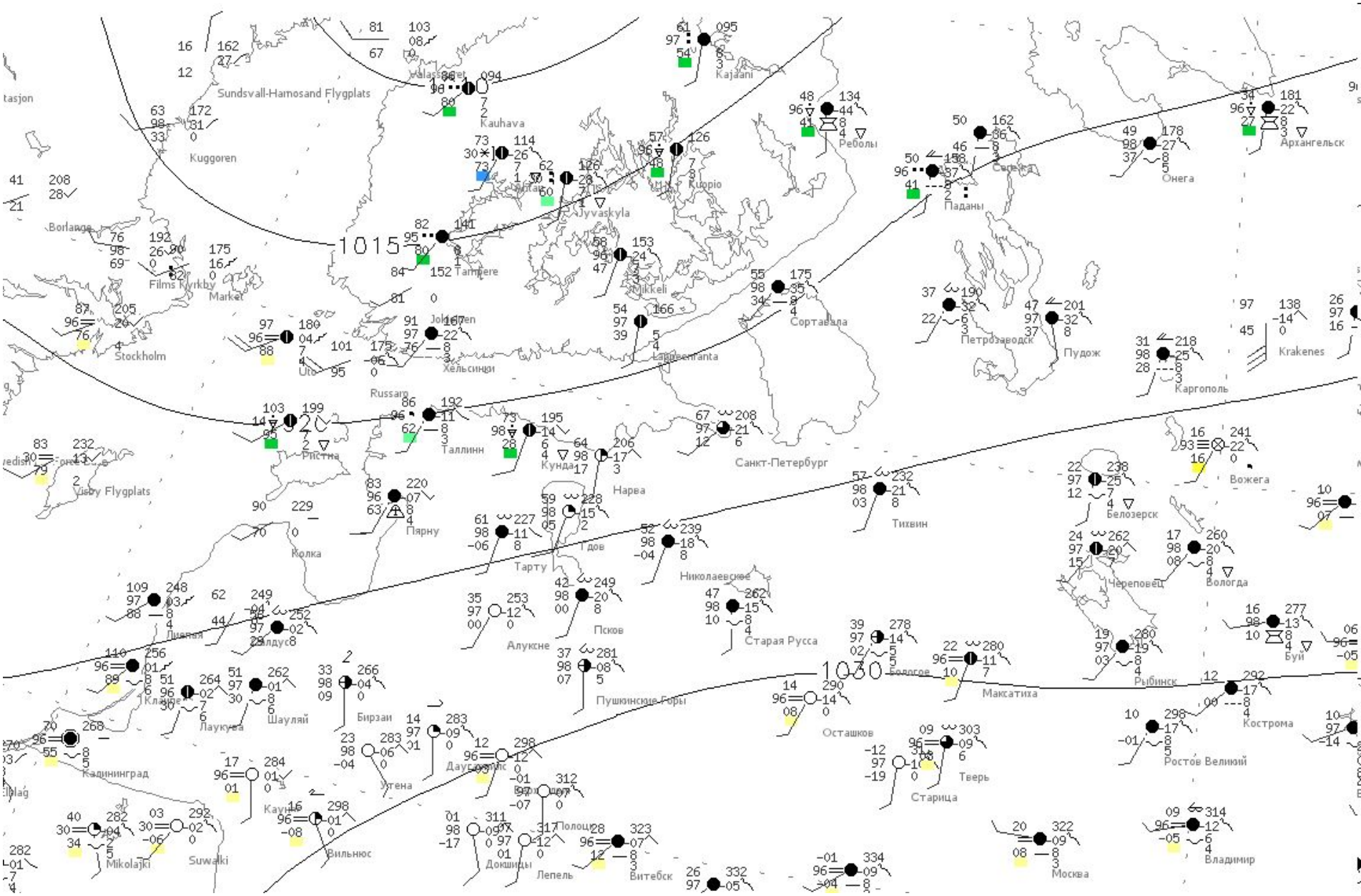
R - универсальная газовая постоянная;

T_{cp} - средняя температура воздуха в слое от 0-h;

e – основание натурального логарифма.

Атмосферное давление, измеренное на метеорологических станциях, приведенное к уровню моря, наносят на приземные карты погоды. На этих картах проводят линии равного давления – изобары, которые позволяют судить о распределении атмосферного давления над различными районами. Поле атмосферного давления, представленное на картах, называется барическим полем.

Приземная карта погоды



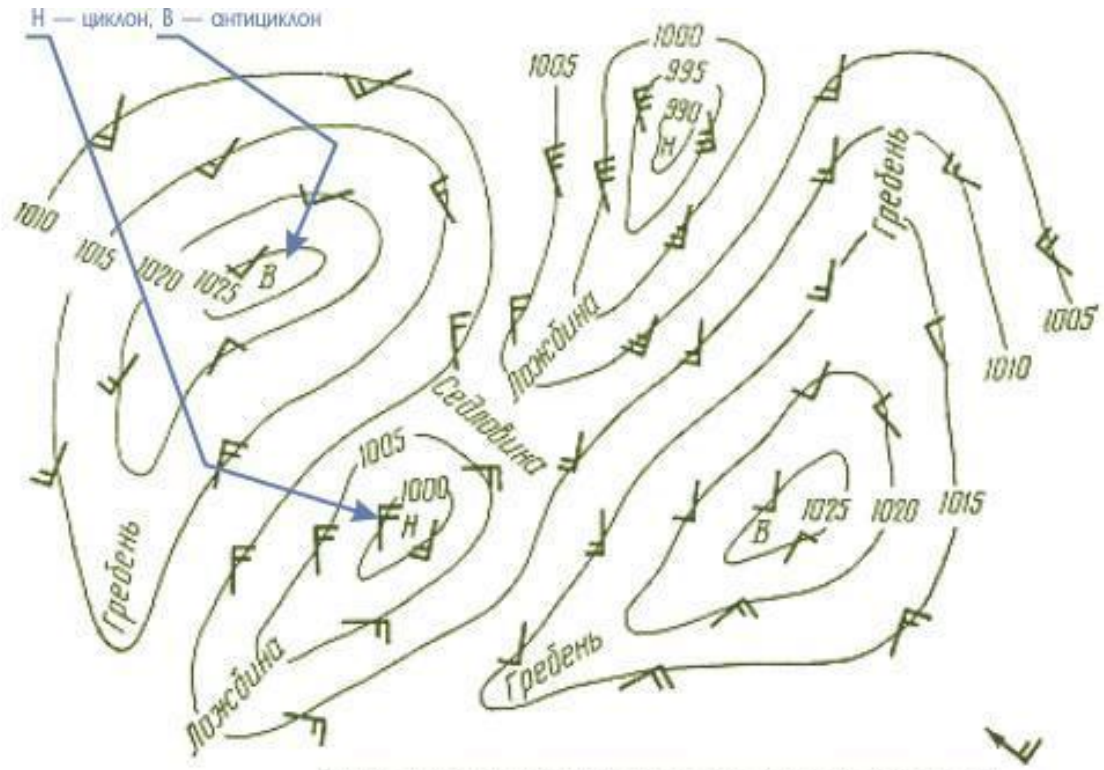
Выделяют следующие барические системы (образования):

Циклон – область низкого давления, ограниченная замкнутыми изобарами, с наименьшим давлением в центре;

Антициклон - область повышенного давления, ограниченная замкнутыми изобарами, с наибольшим давлением в центре;

Ложбина – область изобар, вытянутых от центра циклона к его переферии. Вдоль ложбины можно провести линию наименьшего давления, которая называется осью ложбины;

Гребень - область изобар, вытянутых от центра антициклона к его переферии. Вдоль гребня можно провести линию наибольшего давления, которая называется осью гребня;

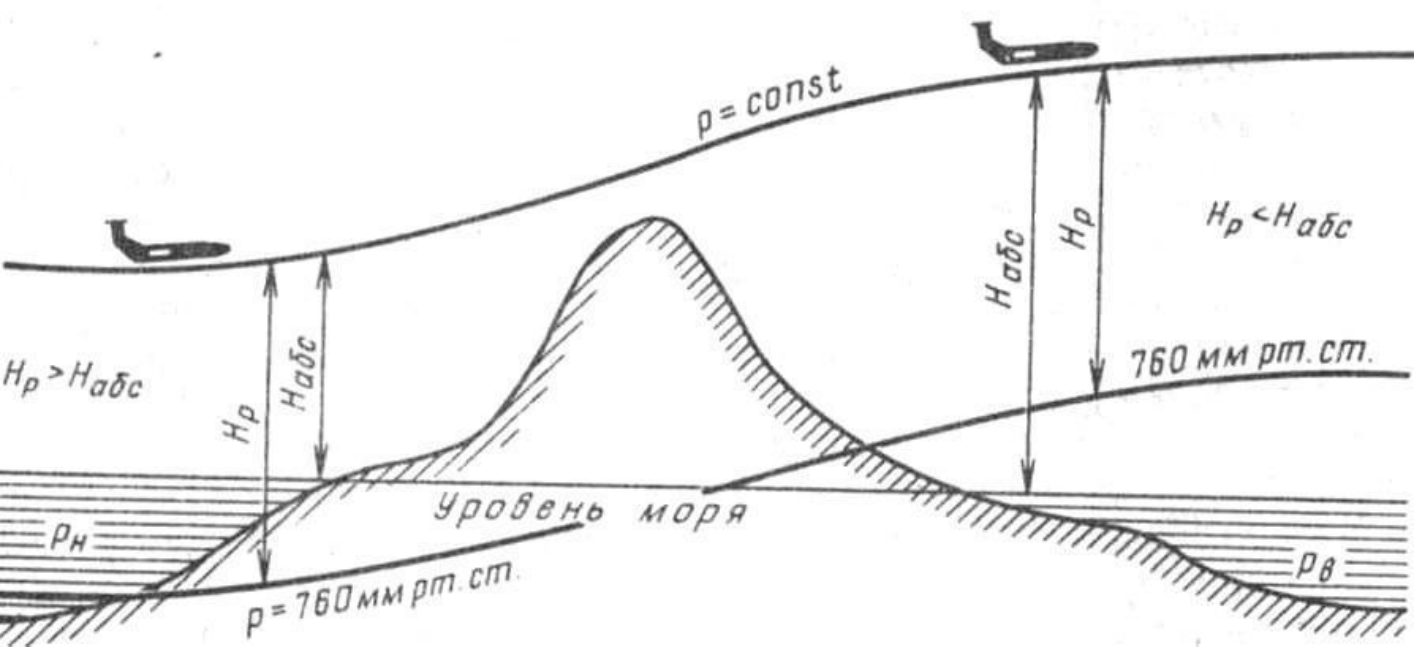


Стрелка указывает, куда дует ветер, перо указывает силу ветра: длинное перо — 5 м/с, короткое — 2,5 м/с. В примере ветер 7-8 м/с.

Седловина – барическое поле, заключенное между двумя циклонами и двумя антициклонами, расположенными крест-накрест.

Эшелон полета - это выделяемая для полетов относительная барометрическая высота, отсчитываемая от изобарической поверхности с давлением 760 мм рт. ст. (1013,2 гПа). Высота полета выдерживается с помощью барометрического высотометра, нуль высоты которого установлен на давлении 760 мм рт. ст. Полет на эшелоне - это полет по одной и той же изобарической поверхности. Истинная высота полета (высота над рельефом местности), а также абсолютная высота полета (над уровнем моря) могут существенно отличаться от барометрической высоты при полете на эшелоне.

При полете на международных авиалиниях используется так называемое давление QNH (гПа), т. е. давление на аэродроме, приведенное к уровню моря по стандартной атмосфере. Ему соответствует барометрическая высота уровня моря. Значение давления QNH сообщается в сводке о фактической погоде на аэродроме по метеорологическому международному коду METAR.



Экипажу перед посадкой в международном аэропорту сообщается давление QFE - давление на уровне рабочего курса ВПП.

Влажность воздуха - содержание водяного пара в атмосферном воздухе. Для её количественной оценки используются следующие характеристики:

Парциальное давление (упругость) водяного пара (*e* [гПа или мм рт.ст.]) - это та часть атмосферного давления, которая создается водяным паром. Различают фактическую упругость водяного пара *e* и максимально возможную при данной температуре *E*.

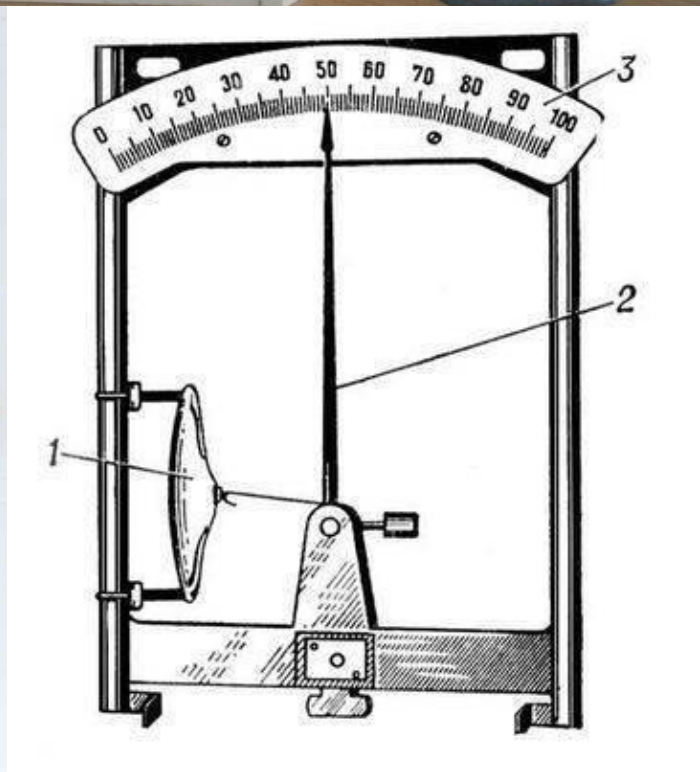
Абсолютная влажность *a* – масса водяного пара в граммах в 1 $м^3$ влажного воздуха [$г/м^3$].

Относительная влажность *f* – отношение фактического давления водяного пара е к давлению насыщения *E* над плоской поверхностью чистой воды, выраженное в процентах [%].

Массовая доля водяного пара (удельная влажность) s – количество водяного пара в граммах в 1 кг влажного воздуха [г/кг].

Точка росы t_d – температура, при которой содержащийся в воздухе водяной пар при постоянных общем атмосферном давлении и массовой доле водяного пара становится насыщенным по отношению к плоской поверхности воды [^oC].

Дефицит точки росы *Δtd* – разность между температурой воздуха t и точкой росы t_d


0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
1
2
3

Плотность воздуха ρ – отношение массы воздуха к его объему [г/м^3].

Плотность воздуха тем больше, чем больше атмосферное давление и чем ниже температура воздуха.

Плотность воздуха зависит как от атмосферного давления и температуры так и от влажности. Водяной пар легче сухого воздуха, поэтому чем больше в воздухе водяного пара, тем меньше будет плотность воздуха.

Для вычисления плотности влажного воздуха пользуются формулой:

$$\rho_{вл} = \rho_{сух} \cdot \left(1 - 0{,}378 \cdot \frac{e}{p}\right)$$

где:

$\rho_{вл}$ - плотность влажного воздуха;

$\rho_{сух}$ - плотность сухого воздуха;

e - парциальное давление водяного пара;

p - атмосферное давление.

Влияние физических параметров атмосферы на дозвуковые ЛА

Потребная воздушная скорость горизонтального установившегося полёта обратно пропорциональна плотности воздуха. Поскольку плотность воздуха уменьшается с высотой, потребная скорость при прочих равных условиях увеличивается.

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2 \cdot G}{C_y \cdot S \cdot \rho}}$$

- вес самолета; G
- коэффициент подъемной силы; C_y
- площадь крыла в плане; S
- плотность воздуха ρ

На постоянной высоте полёта скорость изменяется в зависимости от распределения температуры и давления на уровне полёта. Так как в полёте постоянная высота выдерживается по барометрическому высотомеру (p = const), то скорость полёта зависит только от температуры воздуха.

$$\vartheta = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot R \cdot T}{C_y \cdot S \cdot p}}$$

Из выражения видно, что чем выше температура воздуха, тем больше должна быть потребная воздушная скорость горизонтального полёта.

Состояние атмосферы влияет на взлетно-посадочные характеристики самолётов. Для взлета необходимо, чтобы подъемная сила была больше веса самолёта, т.е.скорость отрыва самолёта на 10- 15% превышает потребную:

$$\vartheta_{отр} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot R \cdot T}{C_{y_{отр}} \cdot S \cdot p}}$$

Из выражения видно, что повышение температуры воздуха приводит к увеличению скорости отрыва самолета, а рост атмосферного давления – к её уменьшению.

Влияние физических параметров атмосферы на дозвуковые ЛА

Длина разбега реактивного самолета с учетом изменения плотности воздуха выражается следующей приближенной формулой:

$$L_{разб} = \frac{L_{проб.ст.}}{\Delta^3}$$

$L_{проб.ст.}$ - длина разбега в стандартных условиях;

Δ - относительная плотность воздуха, равная отношению фактической плотности воздуха к стандартной.

Посадка самолёта также зависит от атмосферных условий. Посадочная скорость выражается формулой:

$$\vartheta_{пос} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot R \cdot T}{C_{y\,пос} \cdot S \cdot p}}$$

Из выражения видно, что чем выше температура воздуха, тем больше должна быть посадочная скорость самолёта. Изменение длины пробега по сравнению со стандартной выражается следующим образом:

$$L_{проб} = L_{проб.ст.} \cdot \frac{T}{T_{ст}} \cdot \frac{p_{ст}}{p}$$

При превышении фактической температуры над стандартной на 10°С длина пробега увеличивается примерно на 3,5%.