



УЕ 1.2. Состав и строение атмосферы

Рассматриваемые вопросы:

Общие сведения об атмосфере

Строение атмосферы

Химический состав воздуха

Общие сведения об атмосфере

Земная поверхность окружена воздушной оболочкой, или атмосферой. Атмосфера (от греч. *atmos* - пар + *sphaira* - шар) - газовая оболочка Земли, связанная с ней силой тяжести и участвующая в ее суточном и годовом вращении. Суммарная масса атмосферы около $5,1-5,3 \cdot 10^{15}$ т.

Атмосфера складывается из смеси газов, водяного пара и аэрозолей. С высотой плотность воздуха убывает, и атмосфера постепенно сходит на нет. Половина всей массы атмосферы сосредоточена в слое до высоты примерно 5,5 км, 95% - до 25 км, 99% - до 30 км, 99,5 % - до 80 км.

Нижней границей атмосферы является подстилающая (деятельная) поверхность - поверхность земли (почва, грунт, растения, вода, снег и т.д.), взаимодействующая с атмосферой в процессе тепло- и влагообмена. Четко выраженной верхней границы атмосфера не имеет. Она плавно переходит в межпланетное пространство.

За верхнюю границу атмосферы условно принимают высоту 1500—2000 км. Однако присутствие воздуха обнаруживается до очень больших высот. Полярные сияния указывают на наличие атмосферы на высотах до 1000 км и более. Атмосфера простирается, при всё убывающей плотности, до высот более



20 тыс. км. Полеты спутников на высотах в несколько тысяч километров осуществляются в атмосфере, но чрезвычайно разреженной. Космические ракеты, а также некоторые спутники с очень растянутой траекторией полета уже неоднократно пронизывали атмосферу и выходили в межпланетное пространство.

Через атмосферу осуществляется обмен веществом и энергией Земли с космосом. Земля получает космическую пыль и метеоритный материал, однако утрачивает самые легкие газы: водород и гелий. Источником энергии для развития атмосферных процессов и формирования погоды является солнечная электромагнитная радиация, которая превращается в атмосфере и на земной поверхности в теплоту и другие формы энергии. Солнечная радиация вызывает диссоциацию молекул атмосферных газов и ионизацию атомов. Земная поверхность и атмосфера непрерывно обмениваются теплом и влагой. Интенсивность этого обмена, зависящая от географических факторов, определяет формирование разных типов воздушных масс, общую циркуляцию атмосферы и, в конечном итоге, разнообразие локальных климатов Земли.

Роль атмосферы в географической оболочке:

- ✓ защищает все живое на Земле от пагубного воздействия ультрафиолетовой солнечной радиации;
- ✓ предохраняет нашу планету от чрезмерного перегревания днем и охлаждения ночью (без атмосферы суточная амплитуда температур составляла бы около 200 °С);
- ✓ служит «броней» против метеоритов, большая часть которых сгорает в атмосфере;
- ✓ взаимодействует со всеми оболочками Земли;
- ✓ без атмосферы не было бы ни ветра, ни звука, ни осадков;
- ✓ необходимое условие существования органической жизни на планете.

Атмосфера находится в непрерывном взаимодействии с космосом (на



высоте до 100 км в ней содержится около 28 млн. тонн космической пыли) и постоянно испытывает его влияние и прежде всего Солнца.

Строение атмосферы

В атмосфере наблюдается пространственное изменение всех метеорологических величин. Наиболее сильное их изменение происходит по вертикали. Например, температура по вертикали изменяется в несколько сотен раз быстрее, чем о горизонтали.

В настоящее время используется несколько признаков, на основании которых атмосферу делят на слои (сферы) в вертикальном направлении.

Наиболее отчетливо различие слоев атмосферы проявляется в характере распределения **температуры воздуха с высотой**.

По этому признаку выделяют пять основных сфер: тропосферы, стратосфера, мезосфера, термосфера и экзосфера (рисунок 1). Между этими слоями имеются прослойки относительно небольшой вертикальной протяженности. Их принято называть по нижележащему слою, заменив в его названии часть слова «сфера» на «пауза».

Тропосфера – самый нижний, основной слой атмосферы, начинающийся от земной поверхности. Мощность тропосферы изменяется и зависит от широты, времени года и центробежной силы вращения Земли. Вертикальная протяженность тропосферы закономерно уменьшается от экватора к полюсам (16-18 км экваториальные широты, 9-12 км в умеренных и 8-10 км в полярных широтах). Зимой верхняя граница тропосферы ниже, чем летом.

В тропосфере сосредоточено более 80% всей массы атмосферного воздуха. Температура воздуха с высотой обычно уменьшается со средним вертикальным градиентом $0,65^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 метров высоты. Средняя годовая температура на верхней границе тропосферы составляет примерно -65°C над экватором, -55°C в умеренных широтах и -65°C над Северным



полюсом зимой и -47°C летом. При некоторых условиях атмосферной циркуляции воздушных масс в отдельных ограниченных слоях тропосферы можно наблюдать инверсии (повышение температуры с высотой) или изотермию (температура с высотой не меняется).

Отличительная черта тропосферы - наличие в ней водяного пара (около 90% всего имеющегося в атмосфере водяного пара). Именно поэтому практически только в тропосфере образуются облака. В тропосфере имеют место:

- горизонтальные и вертикальные движения воздуха;
- турбулентность;
- возникают и развиваются все погодообразующие процессы: циклоны, антициклоны, атмосферные фронты;
- возникают и развиваются почти все виды облаков и осадков;
- наблюдаются оптические, световые и звуковые метеорологические явления.

На тропосферу непосредственно воздействует подстилающая поверхность - разное нагревание суши и моря, снег и лед, теплые и холодные морские течения. В результате взаимодействия с подстилающей поверхностью и в зависимости от широты в тропосфере формируются разные типы воздушных масс, которые составляют общую циркуляцию атмосферы.

Тропопауза - переходной слой между тропосферой и стратосферой; его толщина колеблется от нескольких сотен метров до 1-2 км. Зимой тропопауза находится ниже, чем летом; кроме того, высота тропопаузы колеблется при прохождении циклонов и антициклонов.

Тропопауза играет важную роль в циркуляционных и термодинамических процессах тропосферы и стратосферы:

- задерживает аэрозоли и препятствует их переносу и переносу водяного пара от земной поверхности в стратосферу;



- является барьером на пути проникновения озона из стратосферы в тропосферу;
- ограничивает развитие кучево-дождевых облаков и их проникновение в стратосферу, а также придает им форму наковальни.
- возникают струйные течения.

Тропопауза является также слоем минимальной температуры, где уравнивается поступление и расход лучистой энергии.

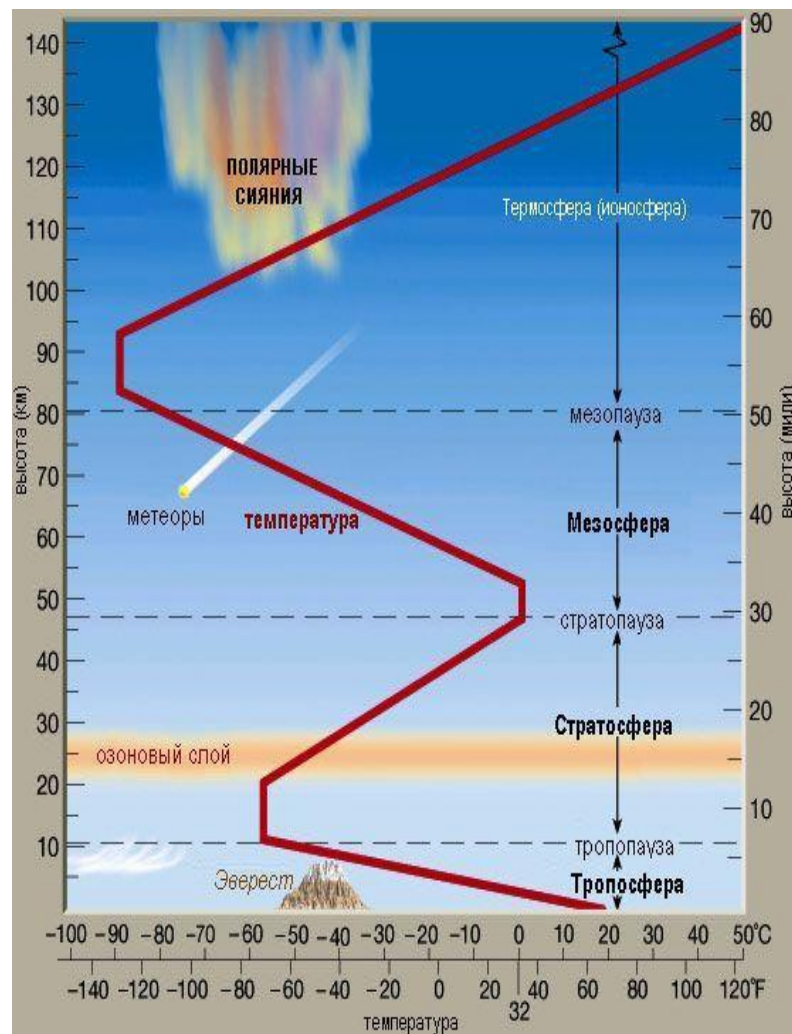


Рисунок 1. Вертикальное расслоение атмосферы



Над тропопаузой до высоты 50-55 км простирается **стратосфера**, характеризующаяся ростом температуры с высотой. Это объясняется поглощением солнечной радиации озоном.

На верхней границе стратосферы температура достигает среднего годового значения $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ с отклонениями $\pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Резкие сезонные колебания температуры на верхней границе стратосферы связаны с изменениями содержания озона. В атмосфере озон располагается в виде слоя толщиной около 90 км. Стратосферу из-за наибольшего количества озона (около 90 %) на высоте от 10 до 50 км с максимум концентрации на высоте 20-25 км, где образуется «озоновый экран», называют озоносферой.

Повышение температуры с высотой придает стратосфере динамичную устойчивость. Здесь почти отсутствуют турбулентное перемешивание и конвективные потоки воздуха, однако отмечаются случаи замедленного оседания или подъема воздуха. Для стратосферы более характерен горизонтальный перенос воздушных масс, преимущественно западных направлений, и здесь развиты струйные течения - ураганной силы ветры (скорость более 100 м/с) в виде лент, опоясывающих Землю.

Водяной пар содержится в ничтожном количестве, поэтому обычные облака в стратосфере не образуются. Только изредка на высоте 20-25 км наблюдаются перламутровые облака, состоящие из переохлажденных капель воды или кристалликов льда.

Стратопауза - переходный слой атмосферы между стратосферой и мезосферой.

Над стратопаузой расположена **мезосфера** до высоты около 80 км. В этом слое наблюдается понижение температуры с высотой до значений $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$, что создает в мезосфере условия для развития турбулентности и придает ей неустойчивое состояние. В мезосфере отмечаются скорости ветра до 150 м/с. В



верхней мезосфере наблюдаются светящиеся металлическим блеском серебристые облака из ледяных кристаллов и вулканической пыли.

Мезопауза - переходной слой между мезосферой и термосферой.

Выше мезопаузы до высоты 800 км расположена **термосфера**, в которой температура растет с высотой. Температура на высоте 200-500 км достигает значений порядка 1000-1500°С, а в термопаузе до 2000°С. Повышение температуры объясняется поглощением ультрафиолетовой солнечной радиации атомарным кислородом. Эта сфера поглощает наиболее интенсивную часть солнечного излучения - корпускулы, рентгеновские лучи и коротковолновую ультрафиолетовую радиацию. В этих слоях наблюдаются большие суточные колебания температуры: дневная температура превышает ночную на 200-300°С. Высокие температуры, характерные для термосферы, определяются по большой скорости полета молекул и атомов. Здесь воздух сильно разрежен и наэлектризован, поэтому общее удержание тепла, которое может воздействовать на тела, очень малое и космические аппараты в термосфере не нагреваются за счет теплообмена с воздухом.

Иногда термосферу называют ионосферой, поскольку содержание ионов здесь очень велико.

Экзосфера (сфера рассеяния) - внешний слой атмосферы с температурой около 2000°С.

В экзосфере происходит отток в космическое пространство атмосферных газов (водорода и гелия). Газы в экзосфере находятся в очень разреженном состоянии и их частицы, двигаясь с огромными скоростями и почти не сталкиваясь друг с другом, преодолевают притяжение Земли и покидают земную атмосферу, улетая в космическое пространство.

Экзосфера простирается до высоты 2000-3000 км.

Водород, ускользающий из экзосферы, образует вокруг Земли земную корону, простирающуюся до 20000 км.



По физико-химическим процессам выделяются озоносфера (10-50 км), нейтросфера (от земли до 70-80 км), ионосфера (выше 70-80 км).

По составу выделяют гомосферу, где процентное содержание газов не меняется (до 90-100 км) и гетеросферу (выше 90-100 км).

По взаимодействию с подстилающей поверхностью атмосферу разделяют на:

- приземный слой 50-100 м, где метеовеличины резко изменяются с высотой;
- пограничный слой до высоты 1-1,5 км – слой трения;
- свободная атмосфера на высоте более 1,5 км.

Нижние 500-1500 метров тропосферы называют пограничным слоем атмосферы, или слоем трения, поскольку в этом слое турбулентный обмен оказывает заметное влияние на ветер и суточный ход метеорологических элементов. Его свойства определяются термическим и динамическим воздействием подстилающей поверхности. Мощность слоя трения зависит от шероховатости подстилающей поверхности и интенсивности турбулентного перемешивания. Высота слоя трения тем больше, чем больше шероховатость. Поэтому над водной поверхностью и равнинной степной местностью высота слоя трения меньше, чем над пересеченной местностью, покрытой лесом. В пограничном слое отмечается повышенное содержание пыли, дыма, аэрозолей.

Нижние несколько десятков метров пограничного слоя называют приземным слоем атмосферы. Он обладает особыми свойствами вследствие непосредственной близости к подстилающей поверхности и характеризуется пестротой микроклиматических условий, что обусловлено ландшафтным разнообразием территории.



Общая циркуляция атмосферы осуществляется в форме циклонической деятельности и приводит к обмену воздуха между различными широтами и областями Земли.

Выше 1,0-1,5 км находится свободная атмосфера. Из-за малых вертикальных градиентов скорости ветра трение Земли в свободной атмосфере почти не сказывается.

В связи с освоением космического пространства *по влиянию на летательные аппараты* атмосферу разделяют на плотные слои (собственно атмосферу) и околоземное космическое пространство. Границей раздела этих слоев является высота 150 км. Таким образом, околоземное космическое пространство начинается в термосфере, в него входит экзосфера. В границах плотной атмосферы космические аппараты летать не могут, а в слоях атмосферы выше 150 км они летают беспрепятственно.

С точки зрения *воздействия магнитного поля Земли* на состояние атмосферы принято выделять магнитосферу, которая охватывает внешнюю часть термосферы. В магнитосфере частички газов (ионы) удерживаются не только гравитационным, но и магнитным полем планеты.

Атмосфера по физическим свойствам неоднородна не только в вертикальном, но и в **горизонтальном направлении**. Вся тропосфера разделяется на обширные области с относительно однородными условиями погоды, и на сравнительно узкие полосы, в которых происходит резкое изменение метеорологических величин.

Обширные объемы воздуха в тропосфере, обладающие относительно однородными свойствами и перемещающиеся в одном из течений общей циркуляции атмосферы, называют воздушными массами (ВМ).



Свойства воздушных масс определяются районом их формирования, т.е. характером подстилающей поверхности, над которой она длительное время находилась.

Существует географическая классификация воздушных масс, по месту их формирования..

1. Арктический воздух (Антарктический), формируется за Полярным кругом, в Арктическом бассейне
2. Умеренный воздух, формируется в умеренных широтах
3. Тропический воздух, формируется в тропических и субтропических областях, летом иногда и в южных районах умеренных широт над континентом
4. Экваториальный воздух, формируется в экваториальной зоне.

В зависимости от поверхности, над которой они сформировались их разделяют на **морские и континентальные**.

По термическому признаку - **на теплые и холодные**. ВМ в тропосфере находятся в постоянном движении, при перемещении ВМ происходит изменение её характеристик, т.е. **трансформация**. В пределах одной ВМ метеоэлементы меняются незначительно. При переходе из одной массы в другую происходит скачкообразное изменение метеовеличин. Переходные зоны между ВМ называют **атмосферными фронтами или фронтальными поверхностями или фронтами**. Фронты разделяются на **холодные и теплые**. Если надвигается холодный воздух, то фронт называется холодным, если теплый воздух, то фронт – теплый (рис.2).

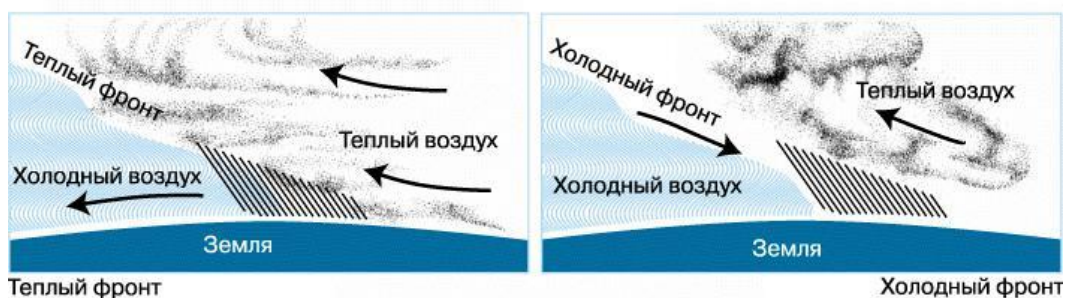




Рис. 2. Типы атмосферных фронтов

Исходя из географической классификации принято различать три главных фронта: арктический – между арктическим и умеренным воздухом, фронт умеренных широт – между умеренным и тропическим, тропический – между тропическим и экваториальным. При прохождении атмосферных фронтов часто наблюдается интенсивное облакообразование, выпадение осадков, усиление ветра, туманы, грозы, шквалы и другие метеорологические явления.

Химический состав воздуха

Воздух представляет собой механическую смесь многих газов. Основными газами, входящими в состав воздуха, являются *азот, кислород, и аргон*.

В небольшом количестве в воздухе содержатся неон, гелий, метан, водород, озон, аммиак и ряд других газов. Кроме указанных газов, в воздухе переменном количестве постоянно присутствуют водяной пар, углекислый газ, озон, аммиак, метан и др.

В атмосфере во взвешенном состоянии также находятся жидкие и твердые частицы (Таблица 1), это капли воды, кристаллов льда, пыли, пыльцы и т.д.

Содержание водяного пара в воздухе изменяется как во времени, так и в пространстве, поэтому в метеорологии приняты понятия *сухого воздуха* и *влажного воздуха*. Воздух, лишенный водяного пара называется *сухим*. Состав сухого воздуха, очищенного от взвешенных частиц, до высоты 25 км примерно одинаков на всем земном шаре. В нем содержится: азот (N) 78,09%, кислород (O₂) 20,95%, аргон (Ag) 0,93%, остальные газы– 0,03% его объема.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Иркутской области
«Иркутский гидрометеорологический техникум»

Состав атмосферы практически не меняется уже сотни миллионов лет. Сформировавшийся в природе круговорот атмосферных газов способствовал тому, что газовый состав атмосферы оставался неизменным до тех пор, пока резко не возросла производственная деятельность человека, главным образом добыча и сжигание угля, нефти и природного газа.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Иркутской области
«Иркутский гидрометеорологический техникум»

Таблица 1. Твердые и жидкие примеси в атмосфере

Примесь	Содержание в атмосфере	Поступление в атмосферу	Значение
Водяной пар	Содержится в нижних слоях атмосферы, занимает по объему от 0,1 до 4%. По горизонтали распространен неравномерно, с высотой его количество резко убывает.	В результате испарения влаги с водных поверхностей, суши, растительного покрова. Выделяется при дыхании живых организмов, вулканические извержения.	Образование облаков, туманов. Поглощает длинноволновую инфракрасную радиацию и возвращает ее к земной поверхности, таким образом, предотвращает большую потерю тепла земной поверхностью.
Углекислый газ	В среднем составляет 0,033%. Его содержание меняется в зависимости от широты, местных условий, времени суток и года.	В результате вулканических извержений, гниения и разложения органических веществ, в процессе дыхания живых организмов и при сжигании топлива.	Для питания растений. Пропускает коротковолновую радиацию и задерживает тепловое излучение Земли (длинноволновую радиацию), таким образом, провоцирует «парниковый эффект».
Озон	Максимальное количество на высоте 20-25 км, далее с высотой содержание убывает и выше 80 км он практически отсутствует. Ниже 10 км под действием коротковолновой радиации солнца не образуется, поступает в нижние слои атмосферы с нисходящими потоками. Распределен в атмосфере неравномерно. Над экватором его количество наименьшее. С увеличением широты содержание увеличивается. Максимум в полярных широтах.	В нижних слоях атмосферы образуется под влиянием грозových разрядов и окисления органических веществ. В высоких слоях атмосферы - под действием ультрафиолетового излучения.	Озоновый слой поглощает ультрафиолетовую радиацию. При больших концентрациях оказывает губительное действие.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
Иркутской области
«Иркутский гидрометеорологический техникум»

Аэрозоли* и антропогенные газообразные примеси	Содержание может быть различным. С высотой количество резко убывает.	Водяные капли и кристаллы льда, пыль, сажа, пепел, пыльца растений, морская соль, промышленные загрязнения	Являются ядра конденсации.
Радиоактивные вещества	Содержание может быть различным.	Атмосферные и наземные термоядерные процессы	Загрязнение воздуха
Ионы (электрически заряженные молекулы)	С высотой содержание увеличивается	С коротковолновой солнечной радиацией и космическими лучами	Благодаря наличию ионов атмосфера обладает электропроводностью.

Аэрозоли* - твердые и жидкие частицы, взвешенные в атмосфере