

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
(СПбГУТ)

Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

КОМПЛЕКТ ПРЕЗЕНТАЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«УЧЕНИЕ ОБ АТМОСФЕРЕ»
Направление подготовки 05.03.06 Экология и природопользование

Разработчик: доцент, к.т.н.
Манвелова Наталья Евгеньевна

Санкт-Петербург
2018

Атмосфера – газовая оболочка Земли. Состав, строение.

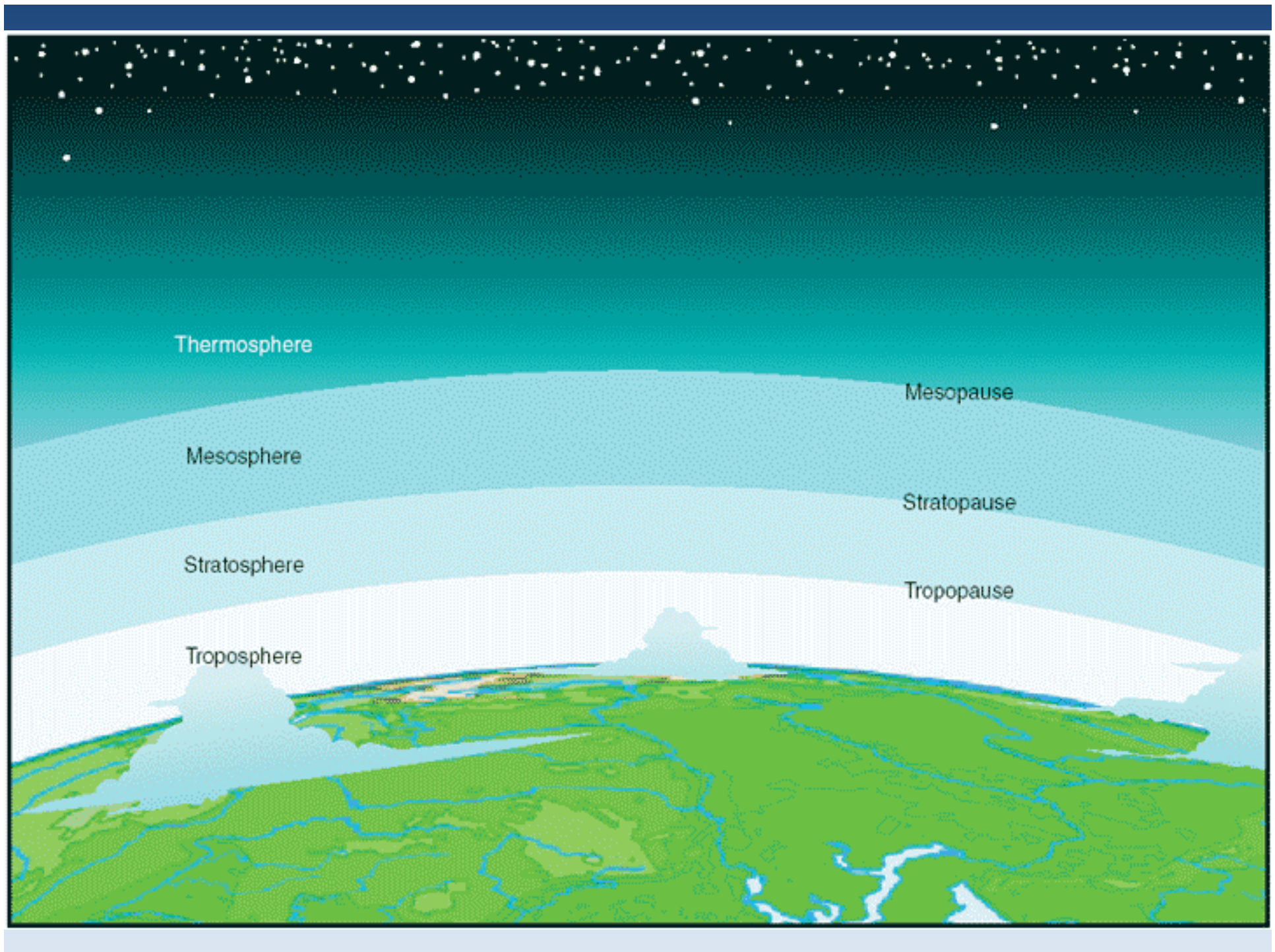
Лекции № 1,2

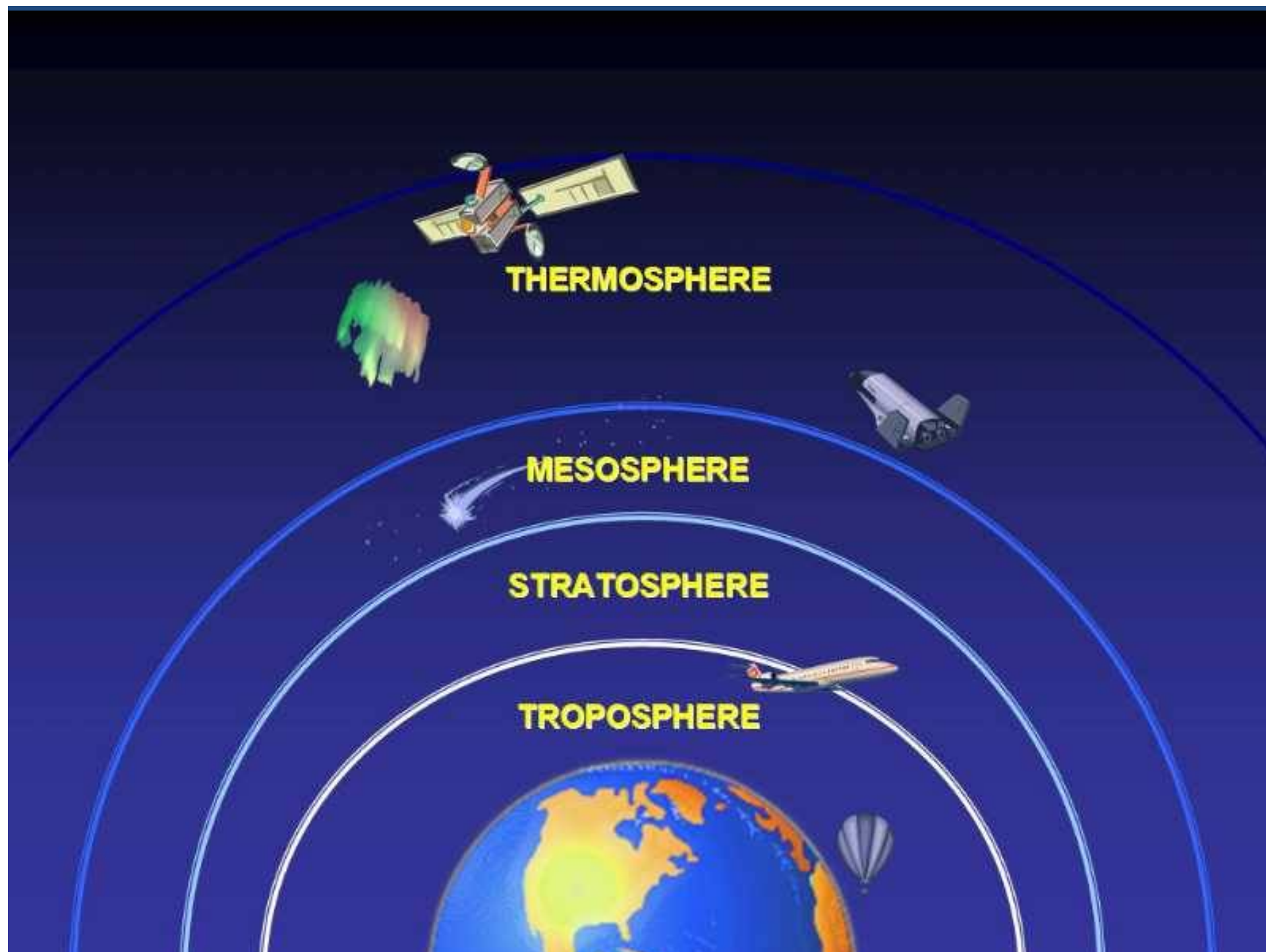
Список рекомендуемой литературы

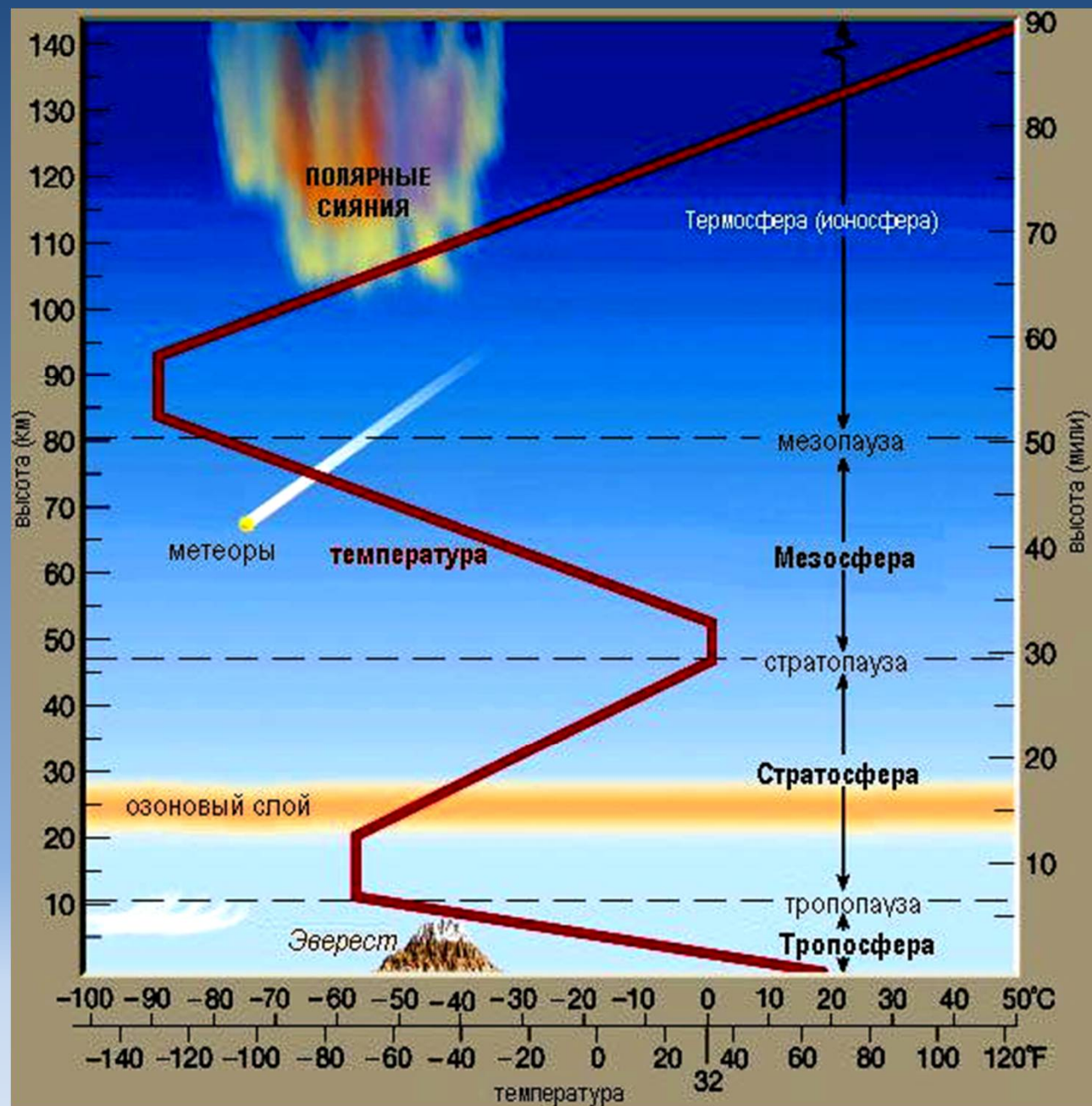
- 1. Воробьев, В. И. Основные понятия синоптической метеорологии [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. И. Воробьев. - СПб. : Рос. гос. гидрометеорологический ун-т, 2013. - 48 с.
- 2. Лобанов, В. А. Практикум по климатологии [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. А. Лобанов, И. А. Смирнов, А. Е. Шадурский. – СПб. : Рос. гос. гидрометеорологический ун-т, 2013. – Ч. 1. - 145 с.
- 3. Русин, И. Н. Основы метеорологии и климатологии [Электронный ресурс] : курс лекций / И. Н. Русин, П. П. Арапов. – СПб. : Рос. гос. гидрометеорологический ун-т, 2013. - 199 с.
- Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных и практических работ. Учение об атмосфере. Манвелова Н.Е. ". - СПб. : СПбГУТ, 2017. - 133 с.
- 1. Агеев, Б. Г. Биоиндикация стратосферного озона [Электронный ресурс] : монография / Б. Г. Агеев, В. В. Баженова, А. В. Бенькова. – Новосибирск : Сибирское отделение РАН, 2013. - 228 с.

Атмосфера

- **Атмосфера** - составная часть биосферы; газовая оболочка Земли, вращающаяся вместе с ней, как единое целое.
- Суммарная масса земной атмосферы **$5,3 \cdot 10^{16}$ тонн.**
- Примерно **90% массы воздуха** находится на высоте менее **15 км**, **9% - на высоте 15-30 км**, и на высоте **30-48 км** примерно **0,9%**.
- Атмосфера состоит из смеси газов, называемой **воздухом**, в котором находятся во взвешенном состоянии жидкие и твердые частички, масса которых существенно мала в сравнении со всей массой атмосферы.
- Атмосферный воздух у земной поверхности, как правило, является **влажным**, так как в его состав входит водяной пар.
- Воздух без водяного пара называется **сухим**.
- У земной поверхности **сухой воздух на 99%** состоит из **азота – 78%** по объему и **кислорода 21%**. Остальные компоненты воздуха представлены в сумме по объему - **1%**.

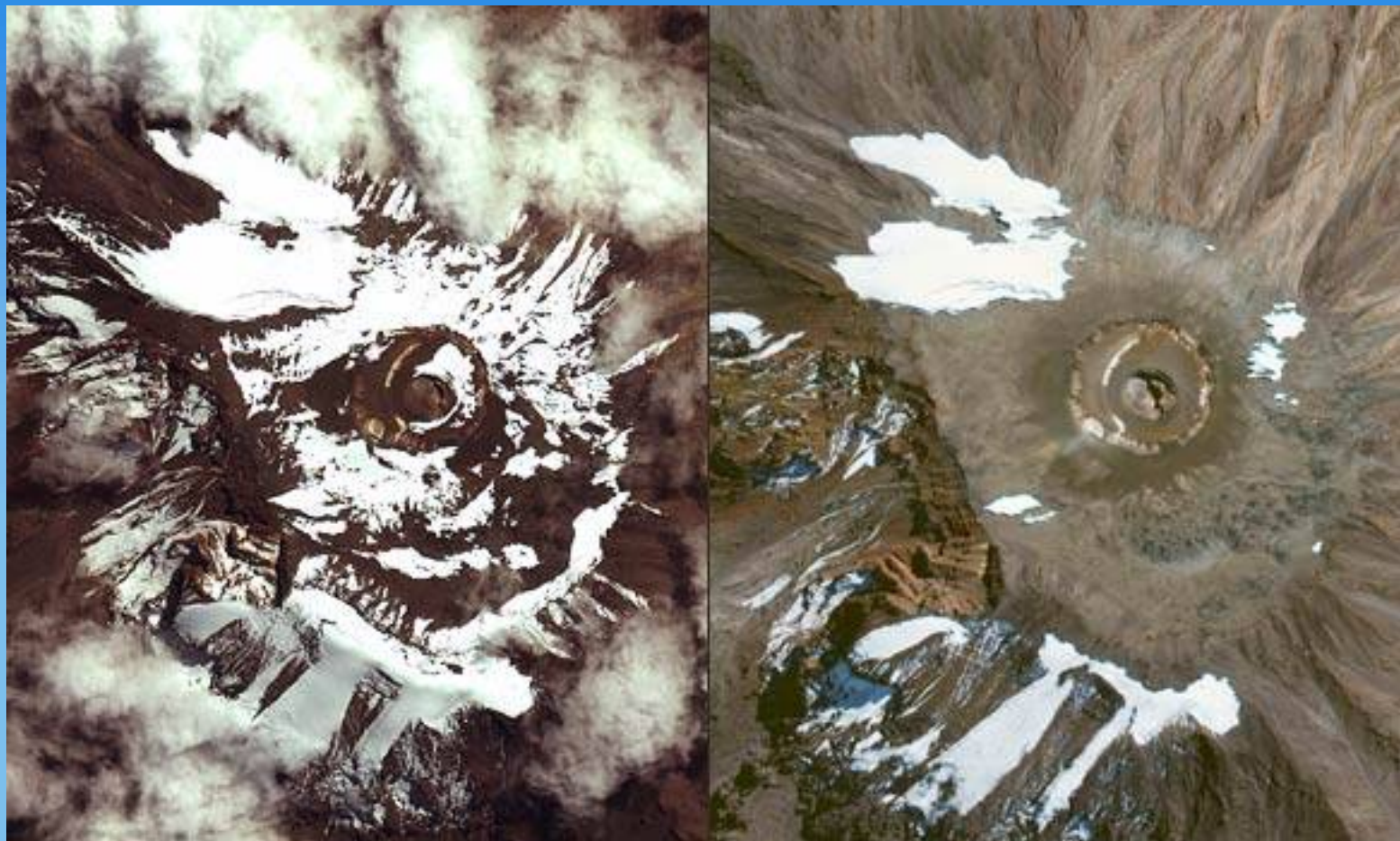






ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТРАТИФИКАЦИЯ АТМОСФЕРЫ

№ п.п.	Наименование сферы	Высота, км	Изменение температуры	Переходный слой	Примечание
1	Тропосфера	0-11	от + 15°С до -45°С - 75°С	Тропопауза	Включает приземный слой (50 м-250м) атм
2	Стратосфера	11-50	От -45°С - 75°С до положительных температур	Стратопауза	Включает озоновый слой на высоте 25 км
3	Мезосфера	50-90	Верх. граница до - 95°С	Мезопауза	Серебристые облака, сгорание метеоритов
4	Термосфера (Ионосфера)	Выше 95	Постоянное повышение до + 500°С и более	Термопауза	Область полярных сияний
5	Экзосфера	Выше 450 от 800 км	Дальнейшее повышение до +2000°С +3000°С		Верхняя граница на высоте 2000 – 3000 км



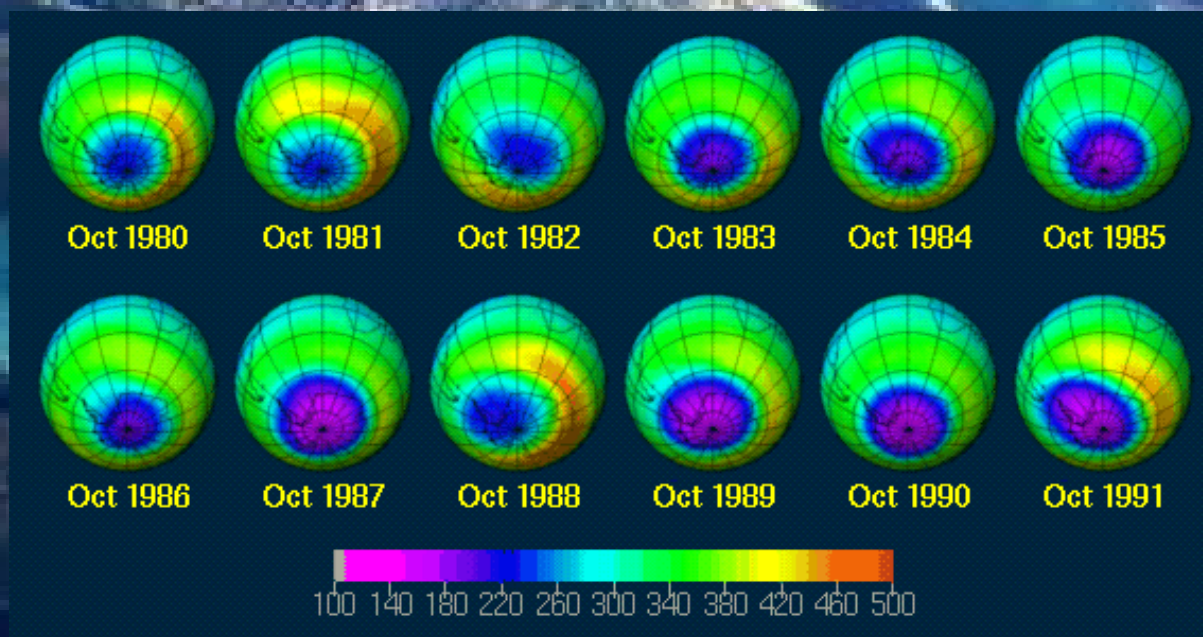
Вид ледника Килиманджаро на спутниковых снимках.

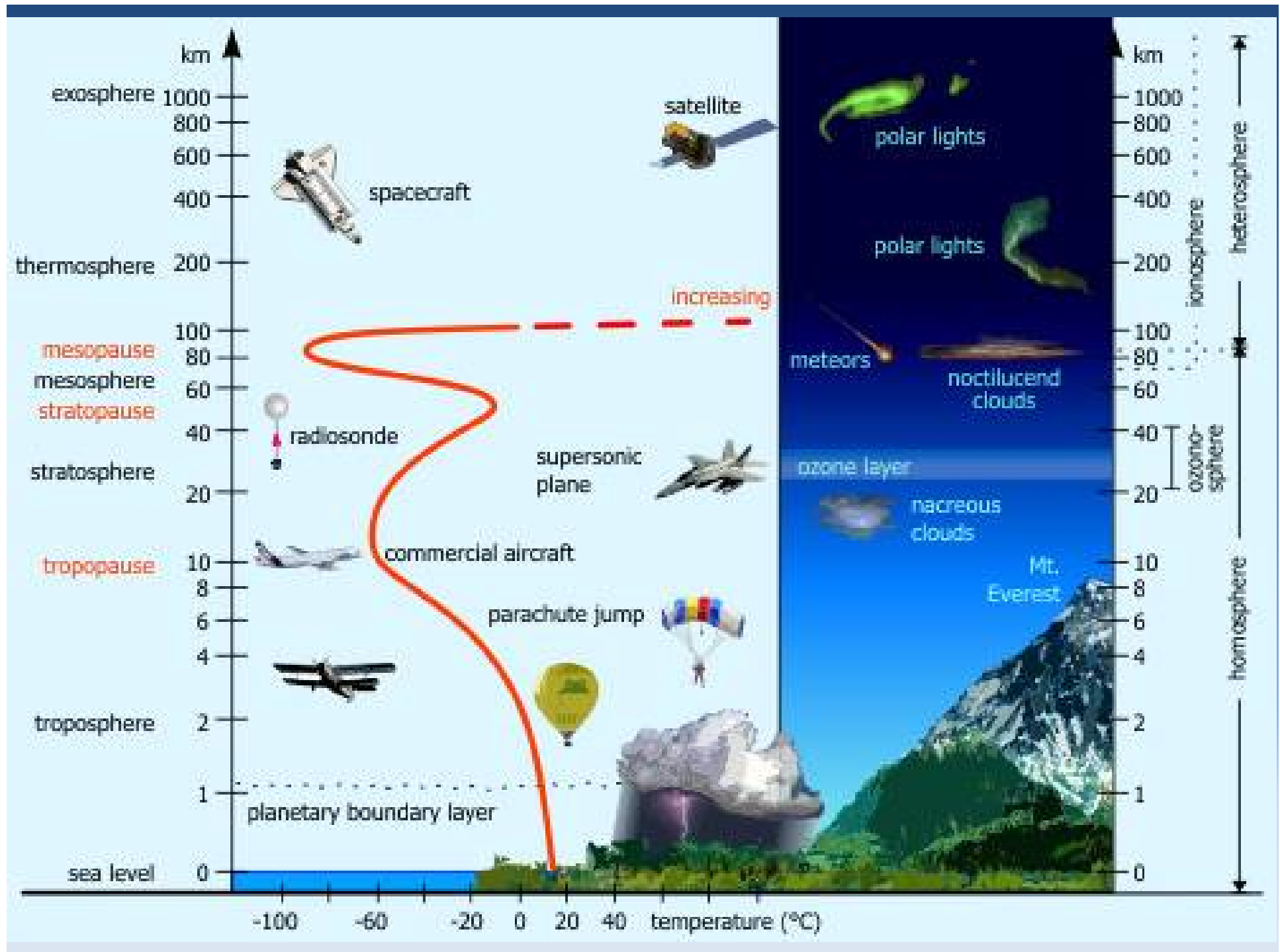
Начало 1990-х (слева). Начало 2000-х (справа).

По мнению врачей, каждый потерянный процент озона в масштабах планеты вызывает до 150 тысяч дополнительных случаев слепоты из-за катаракты, на 2,6 процента увеличивается количество раковых заболеваний кожи, значительно возрастает число болезней, вызванных ослаблением иммунной системы человека.

Наибольшему риску подвержены жители северного полушария со светлой кожей. Но страдают не только люди. УФ-В излучение, к примеру, крайне вредно для планктона, мальков, креветок, крабов, водорослей, обитающих на поверхности океана.

Озоновая проблема, первоначально поднятая учеными, вскоре стала предметом политики





Компоненты	Концентрация, % по объему
Азот	78,084
Кислород	20,9476
Аргон	0,934
Углекислый газ	0,0314
Неон	0,001818
Гелий	0,000524
Метан	0,0002
Криптон	0,000114
Водород	0,00005
Закись азота	0,00005
Ксенон	0,0000087
Двуокись серы	От 0 до 0,0001
Озон	От 0 до 0,000007 летом
	От 0 до 0,000002 зимой
Двуокись азота	От 0 до 0,000002
Аммиак	Следы
Окись углерода	Следы
Иод	Следы

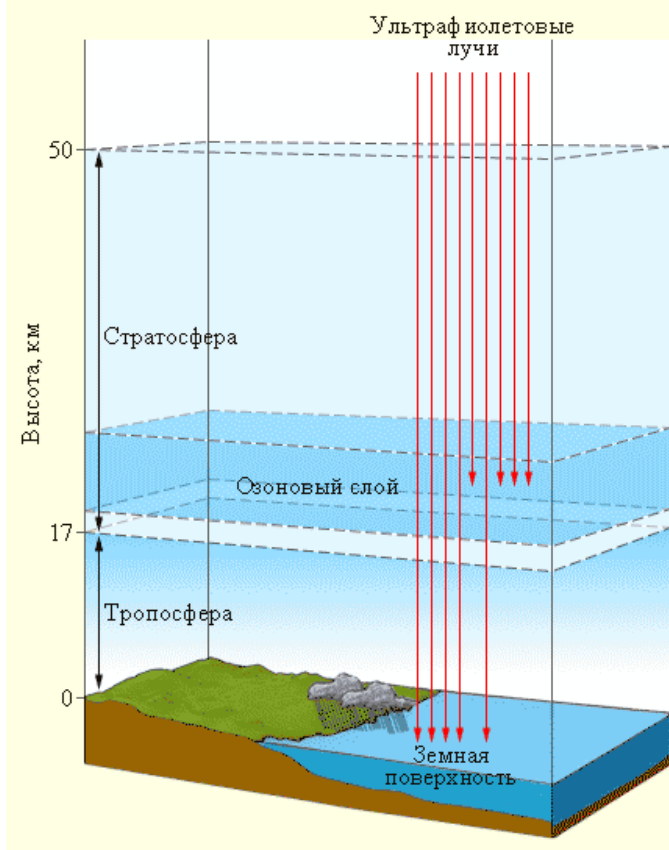
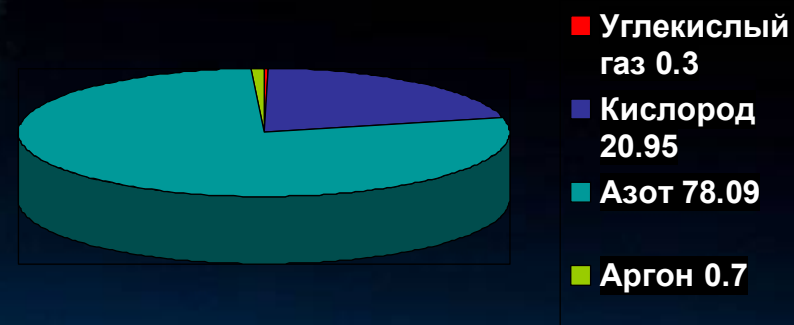
Состав атмосферы

- **Воздух** – смесь газов, в которой во взвешанном состоянии находятся жидкие и твердые частички (их масса незначительна в сравнении с массой атмосферы).
- Состав воздуха:
 - Азот (78,08%)
 - Кислород (20,95%)
 - Аргон (0,93%)
 - Водяной пар
 - Углекислый газ
 - Водород
 - Гелий

Химический состав сухого атмосферного воздуха

Газ	Объемная концентрация, %
Азот	78,08
Кислород	20,95
Аргон	0,93
Углекислый газ	0,03
Неон	0,002
Гелий	0,0005
Метан	0,0002
Криптон	0,0001
Водород	0,00005
Закись азота	0,00005
Ксенон	0,000009
Двуокись серы	От 0 до 0,0001
Озон:	
лето	От 0 до 0,000007
зима	От 0 до 0,000002
Двуокись азота	От 0 до 0,000002
Другие газы	Обнаруживаются следы

АТМОСФЕРА (от греч. Atmos- пар
и sphaira - шар), газовая
оболочка Земли



Озон (O_3)

- Преимущественно находится на высоте 10-60 км
- Максимальная концентрация на высоте 25 км
- Образуется при расщеплении молекул кислорода ультрафиолетовыми лучами и электрическими зарядами
- Защищает Землю от ультрафиолетового излучения, поглощая его.

Азот (N_2)

- Важнейший биогенный элемент
- Входит в состав белков и нуклеиновых кислот
- Регулирует интенсивность окислительных процессов.

Кислород (O₂)

- Биогенное происхождение:
- 30% - растения суши,
- 70% - водоросли мирового океана
- Процесс **фотосинтеза**
- Жизнедеятельность живых организмов
невозможна без кислорода

Углекислый газ (CO₂)

- Поступает в атмосферу
 - Извержения вулканов
 - Жизнедеятельность организмов
 - Промышленные отходы
 - Сжигание топлива
- Задерживает длинноволновую ИК радиацию
- Увеличение концентрации CO₂ – потепление климата
- Непостоянство концентрации углекислого газа в атмосфере (промышленные районы – больше)
- Поглощается растениями больше днем, чем ночью

Водяной пар

- Сосредоточен в нижних слоях атмосферы
- Количество зависит от температуры воздуха (в **теплом воздухе – больше**, чем в холодном)
- Если при некоторой температуре количество водяного пара максимально – пар насыщенный
- При охлаждении **конденсируется**
- При низкой температуре и большом пересыщении – превращается в кристаллы – **сублимация водяного пара**
- Образование **облаков, дождей, туманов** и др.

Другие газы

- Инертные газы (гелий, неон, криптон, ксенон)
- Водород
- Химические соединения (метан, сернистый газ, оксиды азота и другие)
- Образуются при биологических процессах
- При загрязнении промышленными выбросами
- Влияют на экологическую обстановку

Другие частицы в воздухе

- Твердые и жидкие частички различного происхождения и состава:
 - Частицы пыли (ветер)
 - Морская соль (испарение океанических брызг)
 - Космическая пыль
 - Вулканическая пыль
 - Пыль лесных пожаров
 - Пыль техногенного происхождения
- Центры конденсации насыщенного пара для
 - Образования облаков
 - Выпадения осадков (и кислотных дождей)

Влияние примесей воздуха

- Влияют на цвет неба
- Рассеивают солнечные лучи
- Сильнее рассеиваются короткие волны видимой части спектра Солнца (фиолетовый и синий участки)
- Небо при безоблачной погоде становится голубым и синим
- При запыленности воздуха и большом количестве водяного пара – белое
- При сплошной облачности - серое

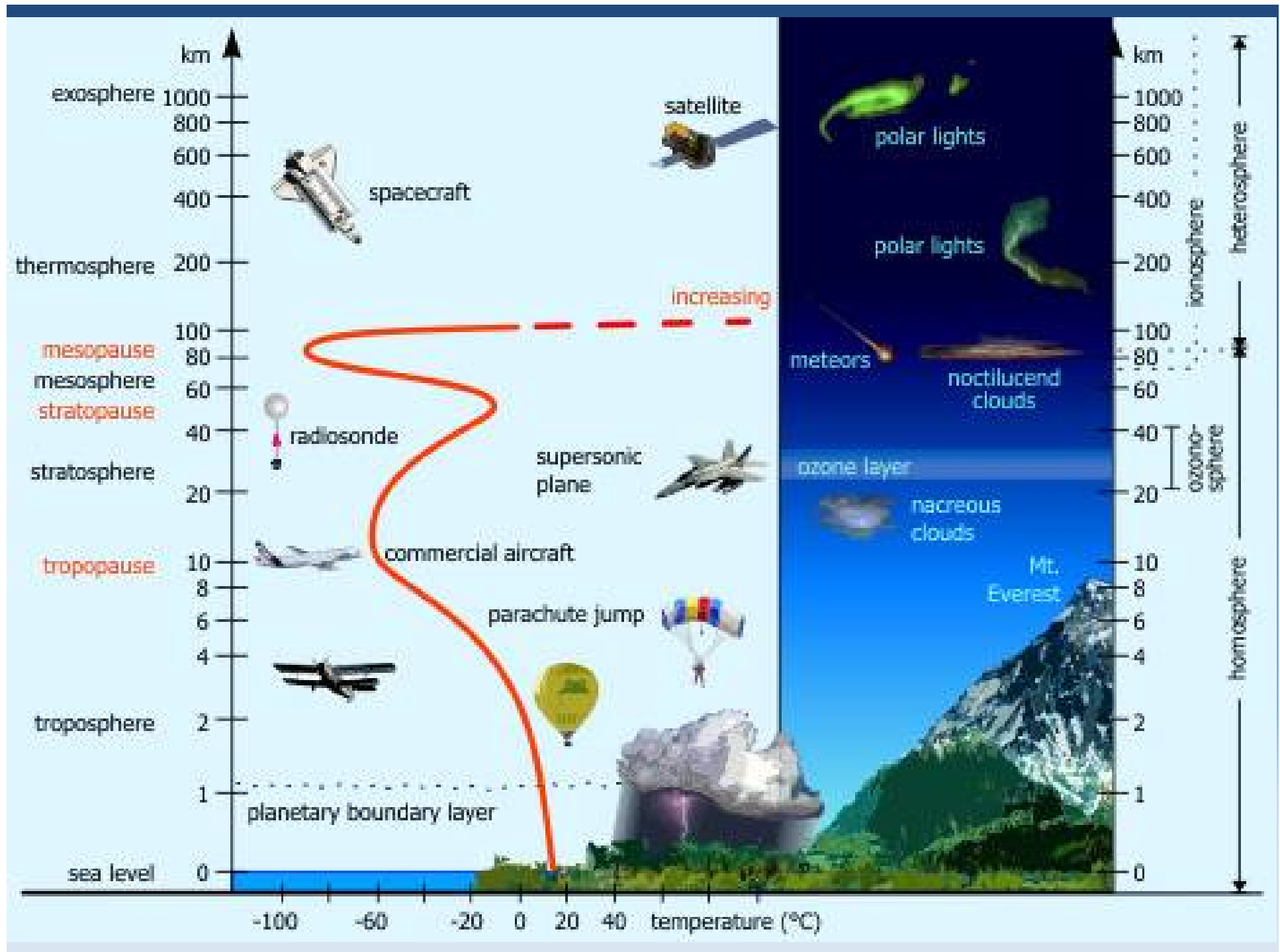
Химические слои в атмосфере

1. Гомосфера (однородная)

- До 100 - 110 км
- Химический состав гомосферы не меняется с высотой
- Исключение: водяной пар, озон, углекислый газ

2. Гетеросфера (неоднородная)

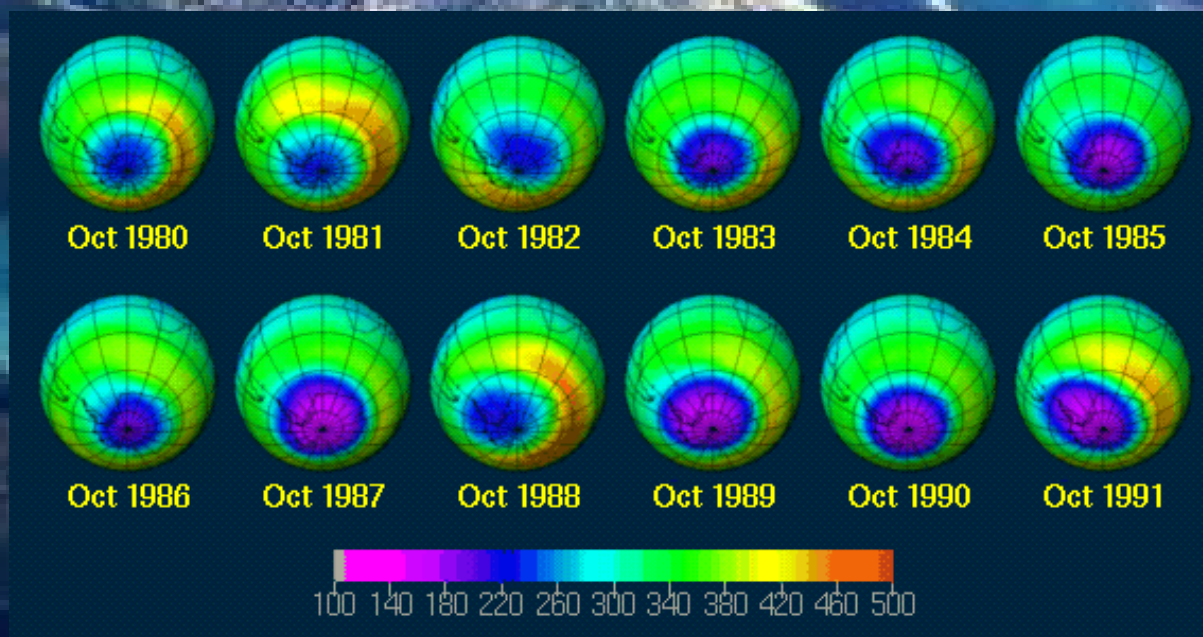
- Свыше 110 км
- Значительные изменения с высотой
- Под действием ультрафиолетовой радиации Солнца молекулы расщепляются на атомы
- В слое 200 – 500 км преобладает атомарный кислород
- Выше – гелий.



По мнению врачей, каждый потерянный процент озона в масштабах планеты вызывает до 150 тысяч дополнительных случаев слепоты из-за катаракты, на 2,6 процента увеличивается количество раковых заболеваний кожи, значительно возрастает число болезней, вызванных ослаблением иммунной системы человека.

Наибольшему риску подвержены жители северного полушария со светлой кожей. Но страдают не только люди. УФ-В излучение, к примеру, крайне вредно для планктона, мальков, креветок, крабов, водорослей, обитающих на поверхности океана.

Озоновая проблема, первоначально поднятая учеными, вскоре стала предметом политики



Строение атмосферы

- Верхняя граница примерно на высоте 2000-3000 км
- С высотой давление, плотность уменьшается
- Изменение температуры – деление атмосферы на **пять сфер** (**ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТРАТИФИКАЦИЯ АТМОСФЕРЫ**)
- Между сферами – переходные зоны – **паузы.**

Тропосфера

- Слой, в котором температура уменьшается с увеличением высоты.
- Высота тропосферы: на экваторе – 16-19 км, на полюсах – 8-12 км
- Содержится 4/5 всей массы атмосферы и весь водяной пар
- Закономерное понижение температуры на $0,6^{\circ}\text{C}$ каждые 100 м – средний вертикальный градиент температуры в тропосфере
- На верхней границе - от -45 до -75°C

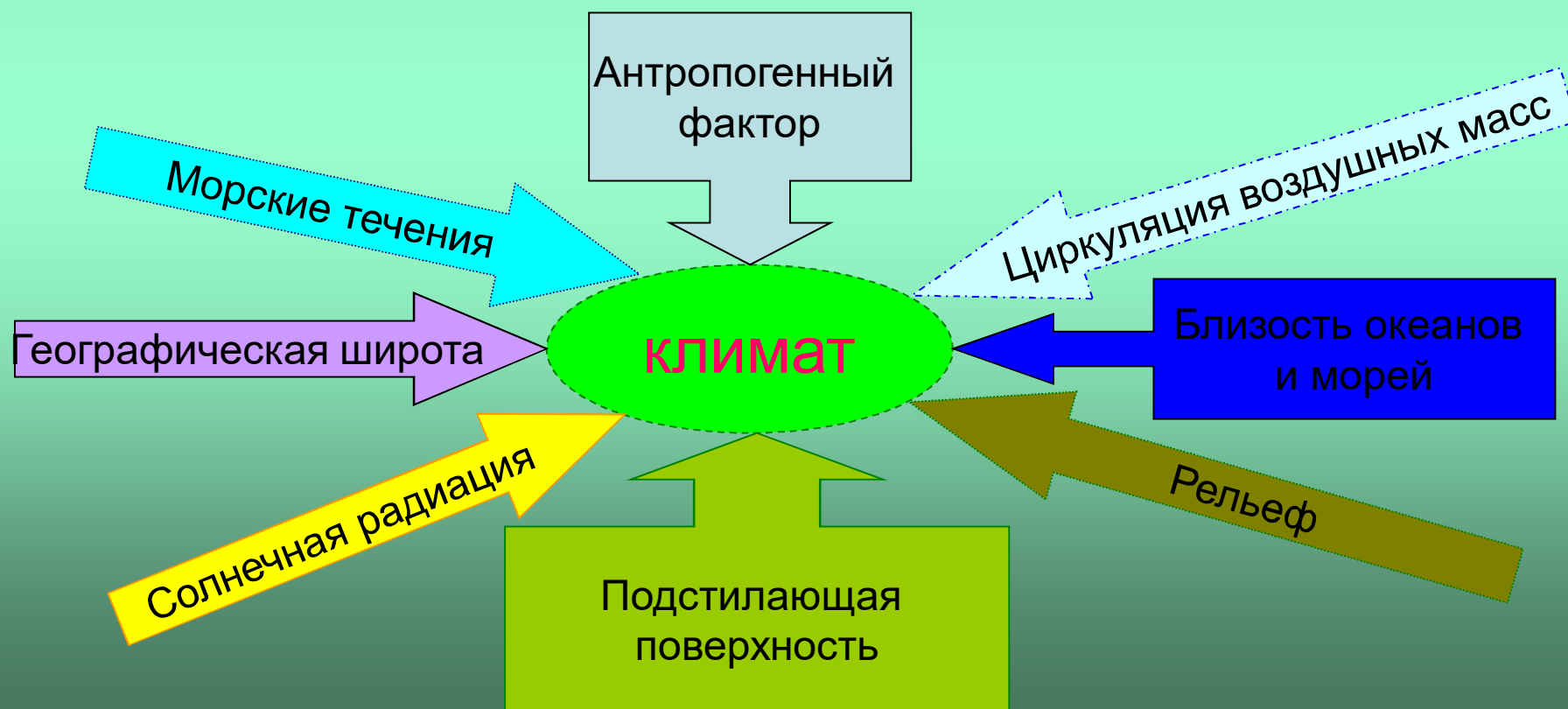
Циркуляция воздуха в тропосфере

- Перепады температур в атмосфере определяют энергию атмосферной циркуляции
- Преобладание западных ветров скорости больше зимой, чем летом
- Усиление с высотой
- Вертикальное перемещение и турбулентное (неупорядоченное) движение
- Подъем и опускание больших масс воздуха – образование и рассеивание облаков, возникновение и прекращение осадков.

Климат

Многолетний режим погоды характерный для данного района Земли.

Климатообразующие факторы



Стратосфера

- Открыта в первой половине XX в.
- Находится на высоте от 8-17 до 50-55 км
- Отделена от тропосферы тропопаузой
- Характерно повышение температуры на $1-2^{\circ}\text{C}$ на 1 км
- На верхней границе – положительная температура
- Озоновый слой земной атмосферы
- Значительные вертикальные перемещения
- Турбулентные движения при сильных горизонтальных течениях

Мезосфера

- Отделена от стратосферы стратопаузой
- Температура **понижается**
- У верхней границы – от **-75 до -90°C**
- Падение температуры в низких широтах медленнее, чем в высоких
- В слое мезопаузы на высоте **86 км** понижение температуры прекращается и начинается ее повышение.
- Под инверсионным слоем в сумерки или перед восходом наблюдаются серебристые облака из ледяных кристаллов
- Большая изменчивость скорости ветра на уровне серебристых облаков

Термосфера (ионосфера)

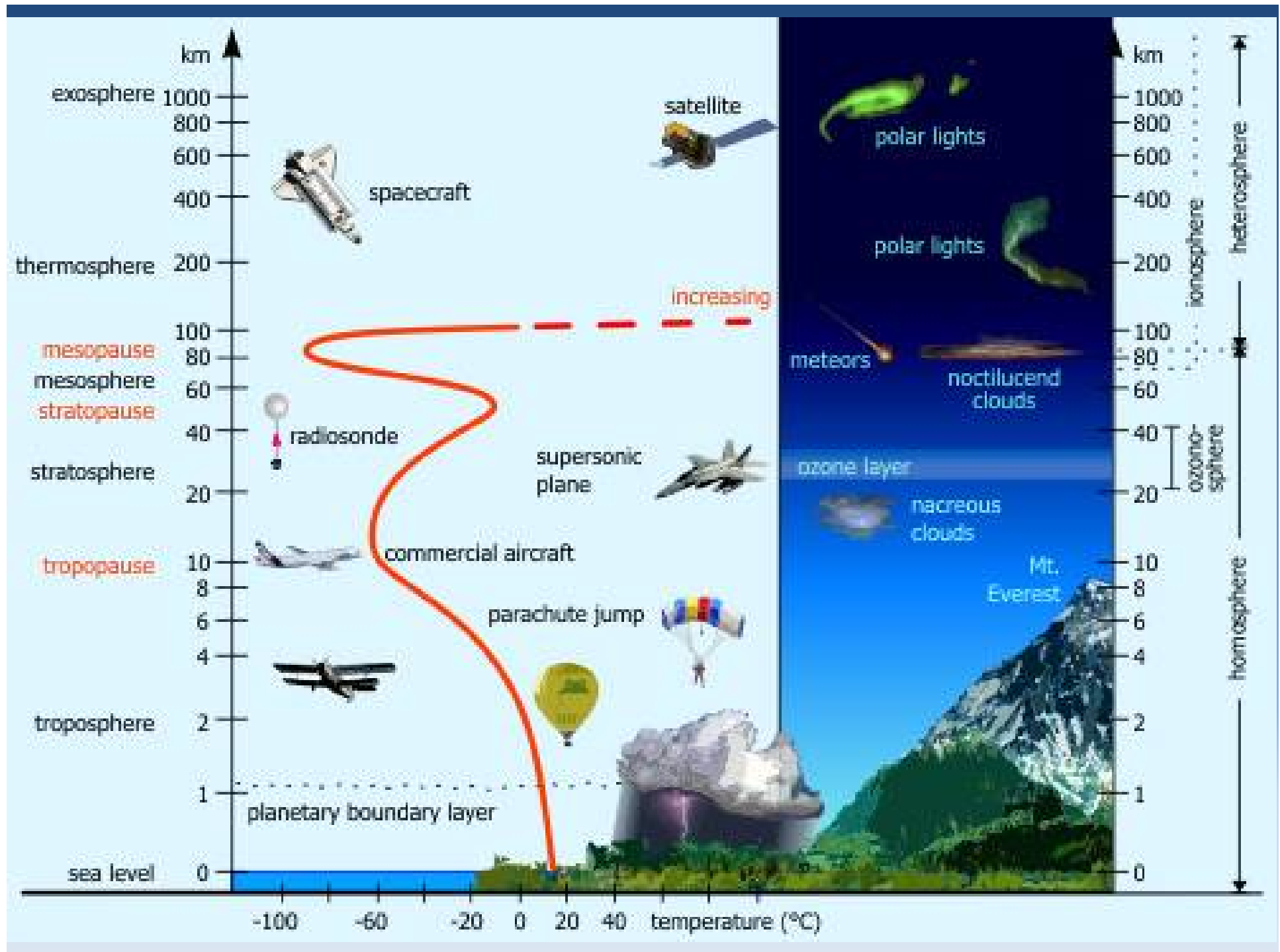
- Выше мезопаузы **до 800 км**
- Идет повышение температуры с высотой (150 км – 220-240°C, 200 км – более 500°C, 500-600 км – **1500°C**)
- Отражение коротких радиоволн – радиосвязь.

Ионизация

- Под действием ультрафиолетового и корпускулярного излучения отщепление от нейтральных атомов электронов – **положительно заряженные ионы**
- Свободные электроны присоединяются к нейтральным атомам – **отрицательно заряженные частицы**
- Полученные положительно и отрицательно заряженные частицы – **ионы**
- Газы, ставшие электропроводными – ионизированные
- Ионизация интенсивна на высоте **60-80 и 200-240 км**
- С увеличением ионизации на высоте 100 км - **свечение газов и полярные сияния.**

Экзосфера

- Самая верхняя часть атмосферы
- От 800 км до 2000-3000 км
- Температура - 2000°C
- Высокая температура на верхней границе атмосферы + пониженная сила земного притяжения = увеличение скорости движения газов до второй космической (11,2 км/с)
- Наиболее легкие газы (водород, гелий) удаляются в межпланетное пространство (диссипация)
- За пределом атмосферы пространство заполнено заряженными частицами газов, образующих зону радиации – земная корона (до 20 тыс. км)



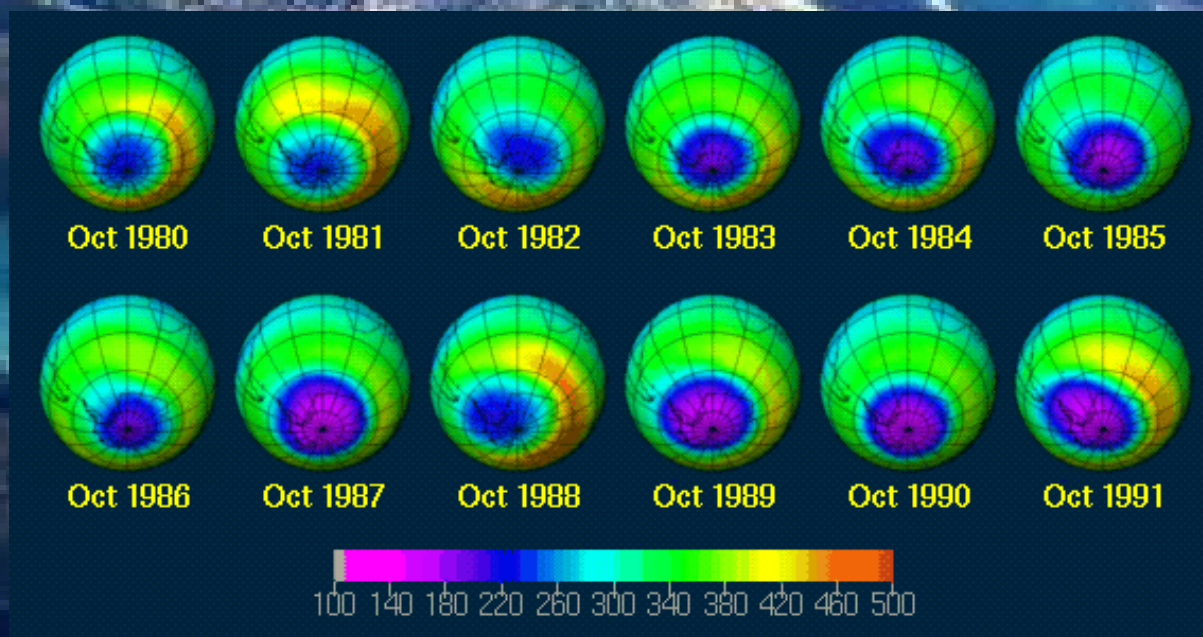
ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТРАТИФИКАЦИЯ АТМОСФЕРЫ

№ п.п.	Наименование сферы	Высота, км	Изменение температуры	Переходный слой	Примечание
1	Тропосфера	0-11	от + 15°С до -45°С - 75°С	Тропопауза	Включает приземный слой (50 м-250м) атм
2	Стратосфера	11-50	От -45°С - 75°С до положительных температур	Стратопауза	Включает озоновый слой на высоте 25 км
3	Мезосфера	50-90	Верх. граница до - 95°С	Мезопауза	Серебристые облака, сгорание метеоритов
4	Термосфера (Ионосфера)	Выше 95	Постоянное повышение до + 500°С и более	Термопауза	Область полярных сияний
5	Экзосфера	Выше 450 от 800 км	Дальнейшее повышение до +2000°С +3000°С		Верхняя граница на высоте 2000 – 3000 км

По мнению врачей, каждый потерянный процент озона в масштабах планеты вызывает до 150 тысяч дополнительных случаев слепоты из-за катаракты, на 2,6 процента увеличивается количество раковых заболеваний кожи, значительно возрастает число болезней, вызванных ослаблением иммунной системы человека.

Наибольшему риску подвержены жители северного полушария со светлой кожей. Но страдают не только люди. УФ-В излучение, к примеру, крайне вредно для планктона, мальков, креветок, крабов, водорослей, обитающих на поверхности океана.

Озоновая проблема, первоначально поднятая учеными, вскоре стала предметом политики

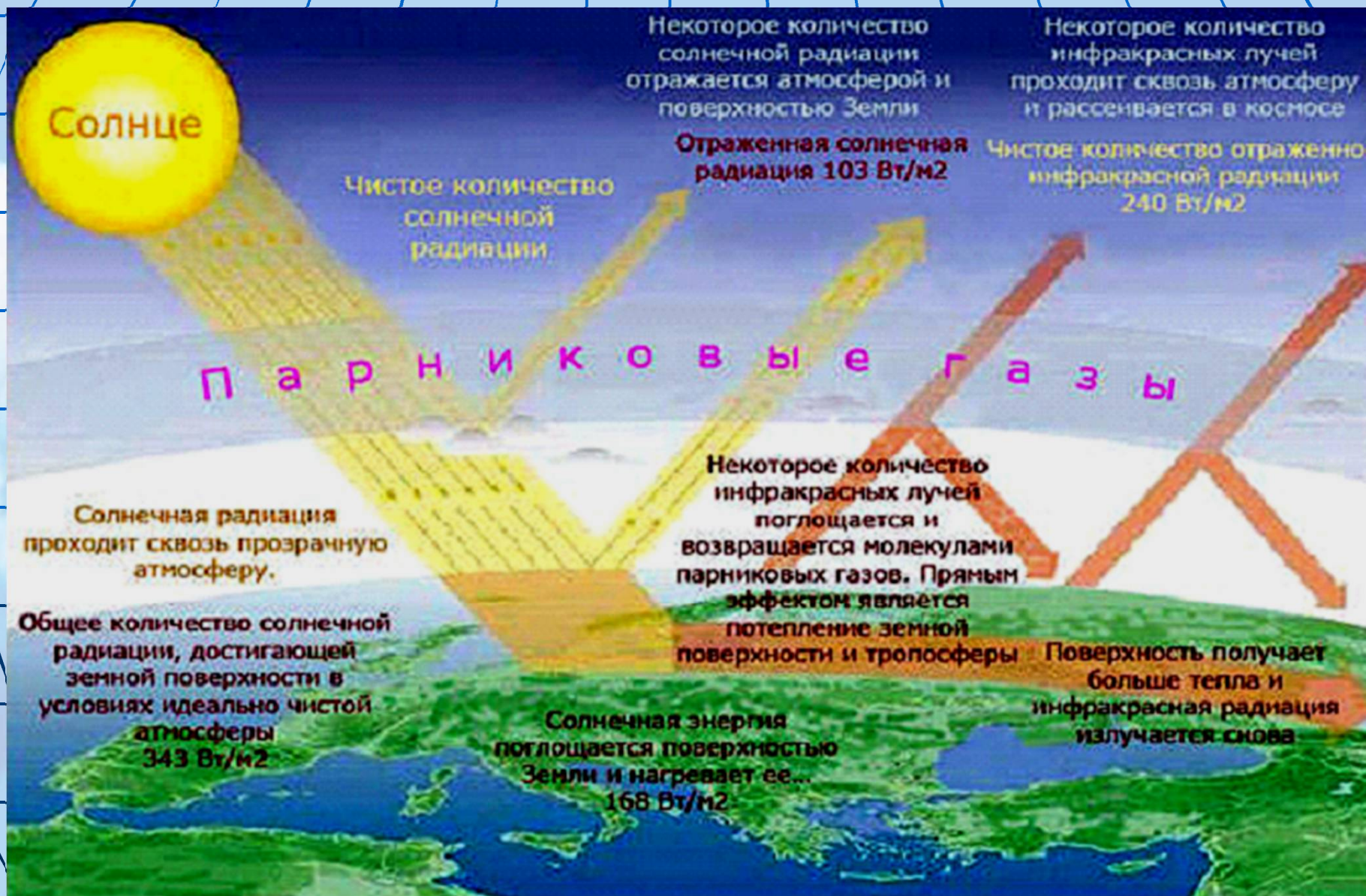


Радиация в атмосфере

Солнечная радиация – лучистая энергия, излучаемая Солнцем и проникающая в земную атмосферу.

Лекция № 3

Парниковый эффект – удержание инфракрасного теплового излучения вблизи поверхности Земли



Солнечная энергия

Виды солнечной энергии:

1. **Корпускулярное излучение** (солнечный ветер, плазма)

Небольшая часть энергии (в миллион раз меньше ее общего количества)

- Переносится частицами – корпускулами(электронами и протонами)

1. **Электромагнитное излучение**

- Свободно распространяется в межпланетном пространстве.
- Проходит через материалы (радиоволны – через стены, свет - через стекло, рентгеновские лучи – через тело)
- Разные виды электромагнитных волн, находящихся в разных диапазонах спектра электромагнитного излучения

3. **Температурная радиация** – определяется температурой излучающего тела и его излучательной способностью. Температура наружных слоев Солнца близка к 6000K, а в центре, согласно расчетам ~ 13-10 миллионов K.

4. Земля получает тепло от Солнца, но в то же время, атмосфера и земная поверхность излучает тепловую радиацию.

Корпускулярное излучение Солнца

- Состоит из протонов и электронов приблизительно в равных количествах.
- Обладая зарядом – взаимодействуют с магнитным полем Земли.
- Магнитосфера Земли – зона, в которой расположены радиационные пояса Земли, характеризующиеся высокой радиацией.
- Полярное сияние – проникновение корпускулярного излучения, ионизирующего часть нейтральных молекул и атомов, вызывая излучение красной, фиолетовой и зеленой окрасок.
- Почти весь поток корпускул отклоняется магнитным полем Земли и тормозится при столкновении с частицами воздуха, проникает в атмосферу до 90 км.

Электромагнитное излучение

- Волны, движущиеся со скоростью около **300000 км/с**
- Длины волн меняются в широком интервале (километры для длинноволнового радиоизлучения и несколько нанометров для рентгеновских лучей и гамма-излучения).

Температурная радиация

- Определяется температурой излучающего тела и его излучательной способностью.
- Земля получает тепловую радиацию от Солнца;
- Земля также излучает температурную радиацию.
- Длины волн: от 100 нм до сотен мкм.
- Радиация с длинами волн менее 400 нм – ультрафиолетовая
- При длине волны 400-700 нм – видимый свет
- При длине волны больше 700 нм – инфракрасной.

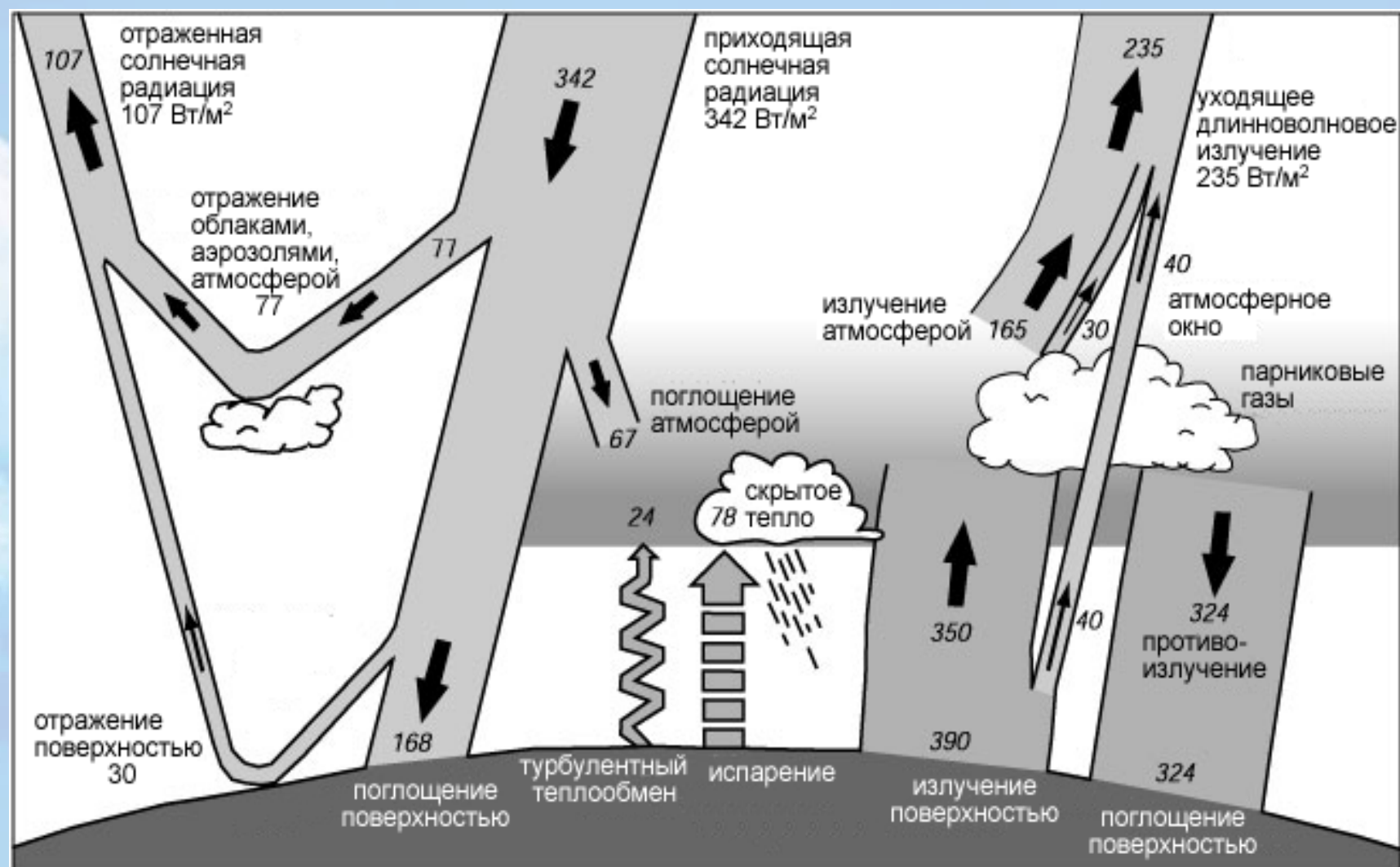
Солнечное излучение

- 9% - ультрафиолетовый диапазон (менее 400нм)
- 47% - видимая область (400-700 нм)
- 44% - на ближнюю часть инфракрасного спектра (больше 700 нм)
- Спектр солнечной радиации похож на теоретически полученное распределение энергии в спектре абсолютно черного тела при температуре 6000К. Температура Солнца – около 6000К.
- Практически весь поток солнечной энергии, достигающей атмосферы, находится в диапазоне излучения с длинами волн 150-4000 нм.

Излучение Земли и Солнца

- Почти весь поток солнечной радиации – длина волны **4000нм.**
- Не совпадают диапазоны излучения Солнца и Земли:
 - **Коротковолновая (солнечная) радиация**
 - **Длинноволновая (земная и атмосферная) радиация**
- Поток солнечной радиации рассеивается и поглощается в атмосфере
- То, что достигает Земли нагревает ее и воздух.
- Из-за поглощения и рассеивания прямой радиации в атмосфере поток солнечной радиации уменьшается
- **Изменяется спектральный состав солнечного излучения**

**Общая схема среднегодового теплового баланса планеты
(Хромов С.П., Петросянц М.А. 2001). Приведенные величины
потоков имеют размерность Вт/м²**



Солнечная постоянная (I_0)

- **Интенсивность солнечной радиации у верхней границы атмосферы** - количество солнечной энергии, проходящей за 1 минуту через перпендикулярную к лучам площадку в 1 см^2 , расположенную вне атмосферы на среднем расстоянии между Землей и Солнцем.
- Не является абсолютной постоянной.
- Зависит от:
 - 11 – летнего цикла солнечной активности (максимум и минимум солнечных пятен)
 - Положения планеты на своей орбите
- Распределение солнечной радиации на верхней границе атмосферы - **солярный климат**.
- Зависит от шаровидности Земли и наклона плоскости ее экватора к плоскости эклиптики.

Солнечная радиация в атмосфере

- Претерпевает различные изменения.
- **Прямая радиация** – радиация, приходящая к поверхности в виде пучка параллельных лучей через атмосферу.
- Характеризуется интенсивностью радиации I (поток радиации, плотностью потока радиации)
- Интенсивность радиации – количество лучистой энергии, поступающей к поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, в единицу времени на единицу площади.
- На горизонтальную поверхность Земли при том же сечении потока придется меньшее количество лучистой энергии I' :
$$I' = I \sin h,$$
- где h высота Солнца над горизонтом.
- Солнце в зените – максимум интенсивности радиации
- При смещении к полюсам величина интенсивности солнечной радиации уменьшается.

Рассеянная радиация

- Образуется при столкновении солнечных лучей с молекулами воздуха.
- Прямая радиация превращается в радиацию, идущую по всем направлениям.
- По **закону Релея** для чистого воздуха: рассеяние обратно пропорционально четвертой степени длины волны рассеиваемых лучей.
- Преобладают коротковолновые лучи видимого спектра (**фиолетовые, синие**)

Особенности атмосферы

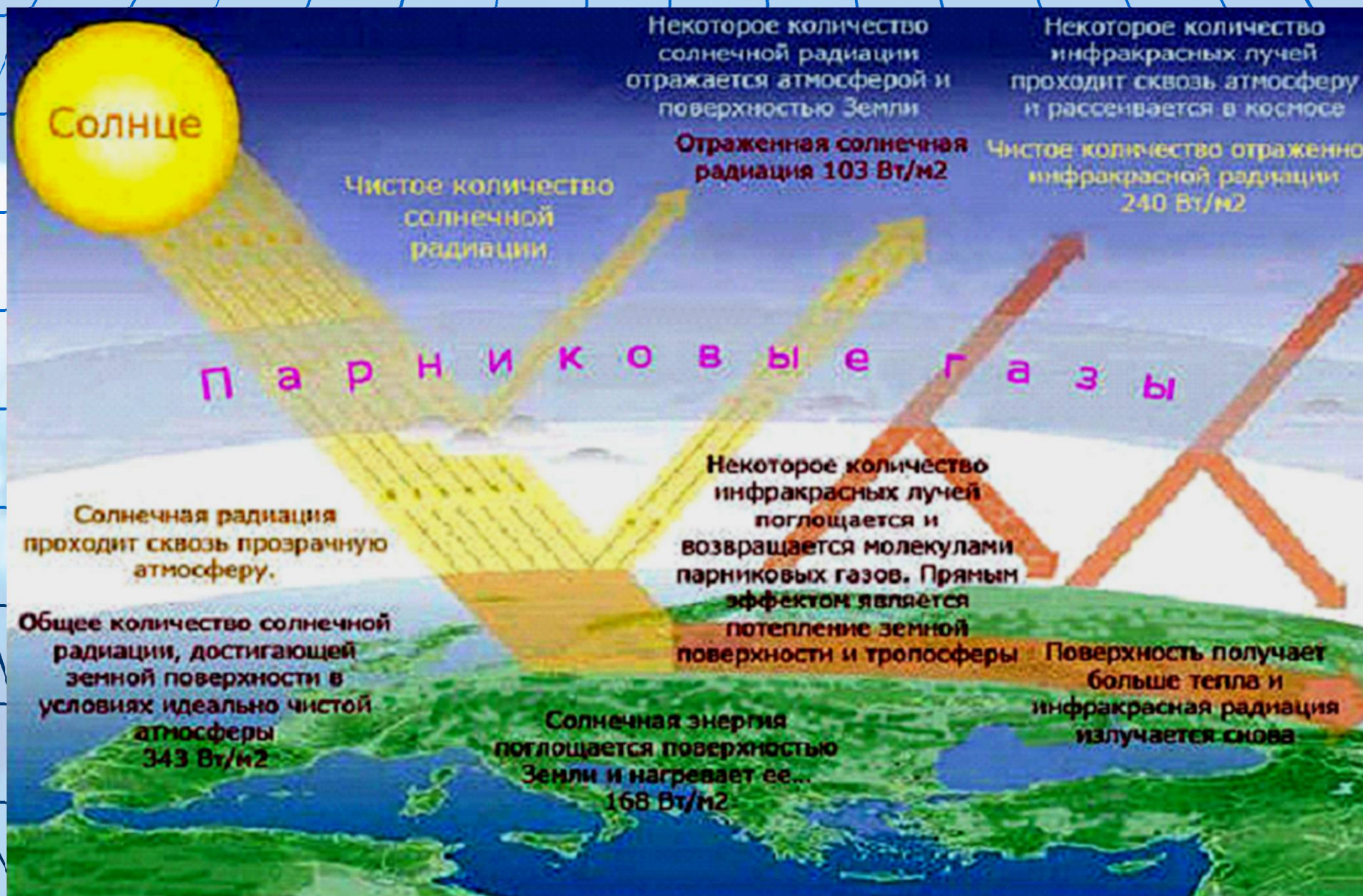
1. **Сумерки** – период плавного перехода от дневного света к ночной темноте после заката и обратно - перед восходом Солнца.
 - Продолжительность сумерек зависит от географической широты (чем ближе к экватору, тем они короче)
 - Если Солнце опускается менее чем на 18° , полной темноты не наступает, вечерние сумерки сливаются с утренними – **белые ночи**.

2. **Заря** – рассеяние, дифракция и преломление солнечных лучей в мельчайших атмосферных аэрозолях и на более крупных частицах в различных слоях атмосферы.

- Характерные цвета: пурпурный и желтый.
- Цвета могут меняться в широких пределах в зависимости от примесей в атмосфере.

3. **Рассеянный свет** – рассеянная радиация в дневное время, из-за которой светло там, где солнечные лучи непосредственно не попадают, и когда Солнце скрыто за облаками.

Парниковый эффект – удержание инфракрасного теплового излучения вблизи поверхности Земли



5. Атмосферная видимость – расстояние, в пределах которого становятся различимы очертания наблюдаемого объекта.

- Зависит от рассеяния и поглощения света атмосферным воздухом, примесями в нем.
- В тумане – несколько метров, в слабо запыленном сухом воздухе – десятки и сотни километров.

- Рассеянная радиация – 25% от общего потока солнечного излучения.
- Относительное значение закономерно возрастает с уменьшением прямой радиации.

Суммарная солнечная радиация

- Суммарная солнечная радиация – совокупность прямой и рассеянной радиации.
- Определяет тепловой режим тропосферы
- Суточный ход суммарной радиации – изменение ее величины в течение суток
- Максимум в день – полдень; максимум в год – лето.
- При облачности суммарная радиация сокращается.

Интенсивность суммарной радиации I_s :

$$I_s = I \sin h + i,$$

где I – интенсивность прямой радиации,

i – интенсивность рассеянной радиации.

Нагревание атмосферы

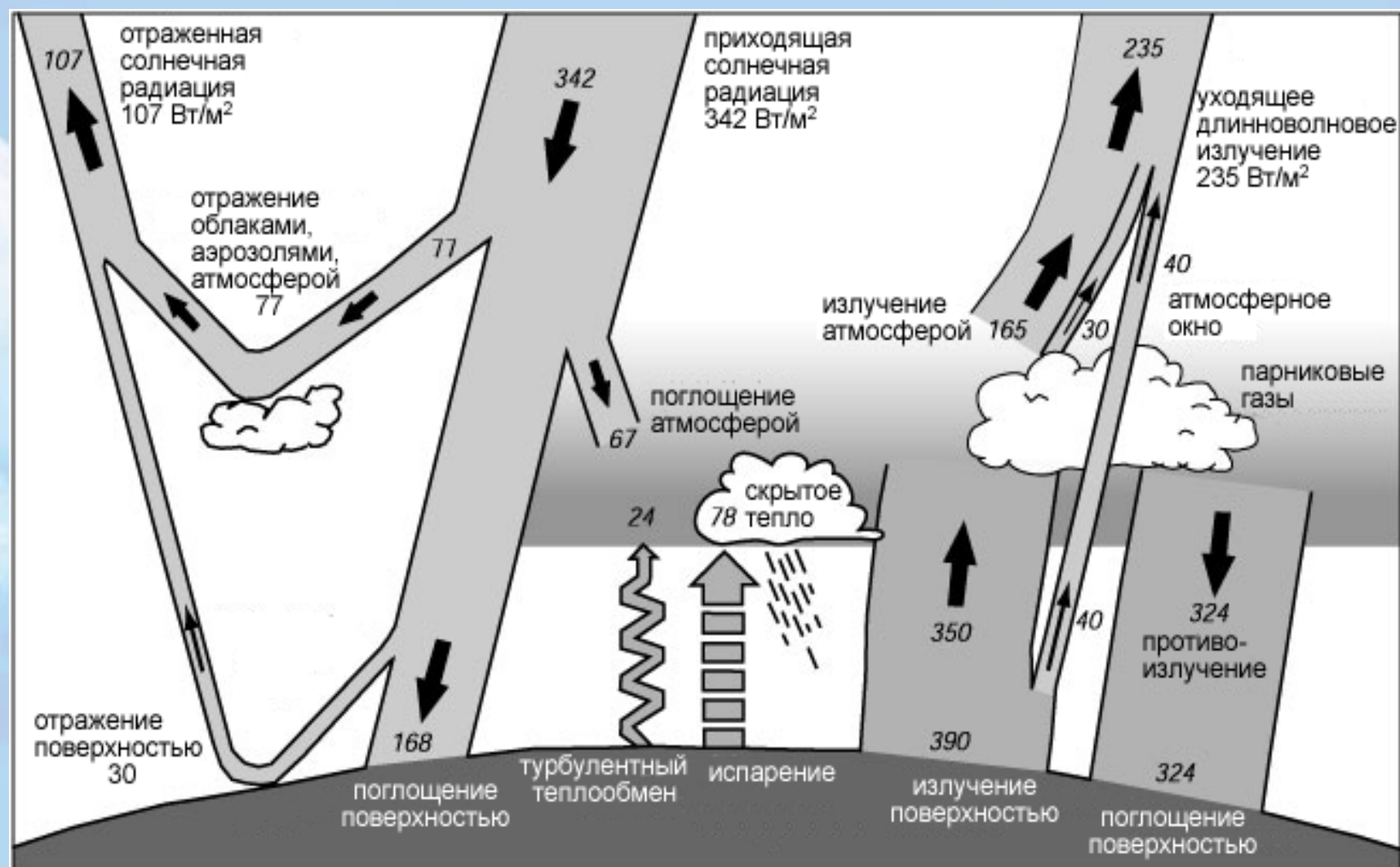
- При поглощении солнечной энергии молекулами воздуха превращается часть лучистой энергии в кинетическую.
- Изменение кинетической энергии – изменение движения молекул – изменение температуры среды, поглощающей излучение.
- Атмосферные слои, наиболее эффективно поглощающие солнечную радиацию – **самые теплые в атмосфере.**

Поглощение излучения

- Воздух поглощает излучение на одних длинах волн, а для излучения с другой длиной волны он прозрачен.
- Во внешней разряженной области атмосферы, радиация поглощается в коротковолновой области ультрафиолетового диапазона молекулами азота и кислорода.
- Молекулы диссоциируют, ионизируются и приобретают дополнительную кинетическую энергию.
- Слои, где такой процесс интенсивен – **ионосфера** или **термосфера**.
- Полностью наиболее короткая часть ультрафиолета поглощается **на высоте 1000км.**

- На более низких слоях – незначительное поглощение ультрафиолетового излучения – минимальная температура.
- Продолжается слабое поглощение ультрафиолета молекулами кислорода – образование озона.
- Озон поглощает длинноволновую часть ультрафиолетового излучения (до 300 нм) – появление на высоте 50 км температурного максимума.
- Радиация с длинами волн выше 300 нм и в видимом диапазоне поглощается незначительно.
- В ближней части инфракрасного диапазона поглощается углекислым газом и водяным паром (особенно в тропосфере).

**Общая схема среднегодового теплового баланса планеты
(Хромов С.П., Петросянц М.А. 2001). Приведенные величины
потоков имеют размерность Вт/м²**



Парниковый эффект

- Так называемый парниковый эффект на Земле обеспечивает поток нисходящего инфракрасного теплового излучения атмосферы (противоизлучение), приходящий к поверхности – 324 Вт/м^2 . Он имеет место благодаря наличию парниковых газов: H_2O , CO_2 , CH_4 , O_3 , N_2O , CO и др. в атмосфере и дополнительно к солнечному излучению подогревает поверхность. В результате, среднегодовая глобальная температура приземного воздуха $+15^\circ\text{C}$.
- Если бы атмосфера Земли состояла только из N_2 , O_2 и Ar , то поток этого теплового противоизлучения атмосферы был бы равен нулю, а температура приземного воздуха около -18°C .
- Современная проблема парникового эффекта в том, что за последнее столетие из-за увеличения в атмосфере количества парниковых газов, главным образом CO_2 и CH_4 , этот среднегодовой поток увеличился по разным оценкам на величину примерно $2\text{--}3 \text{ Вт/м}^2$ и продолжает расти.

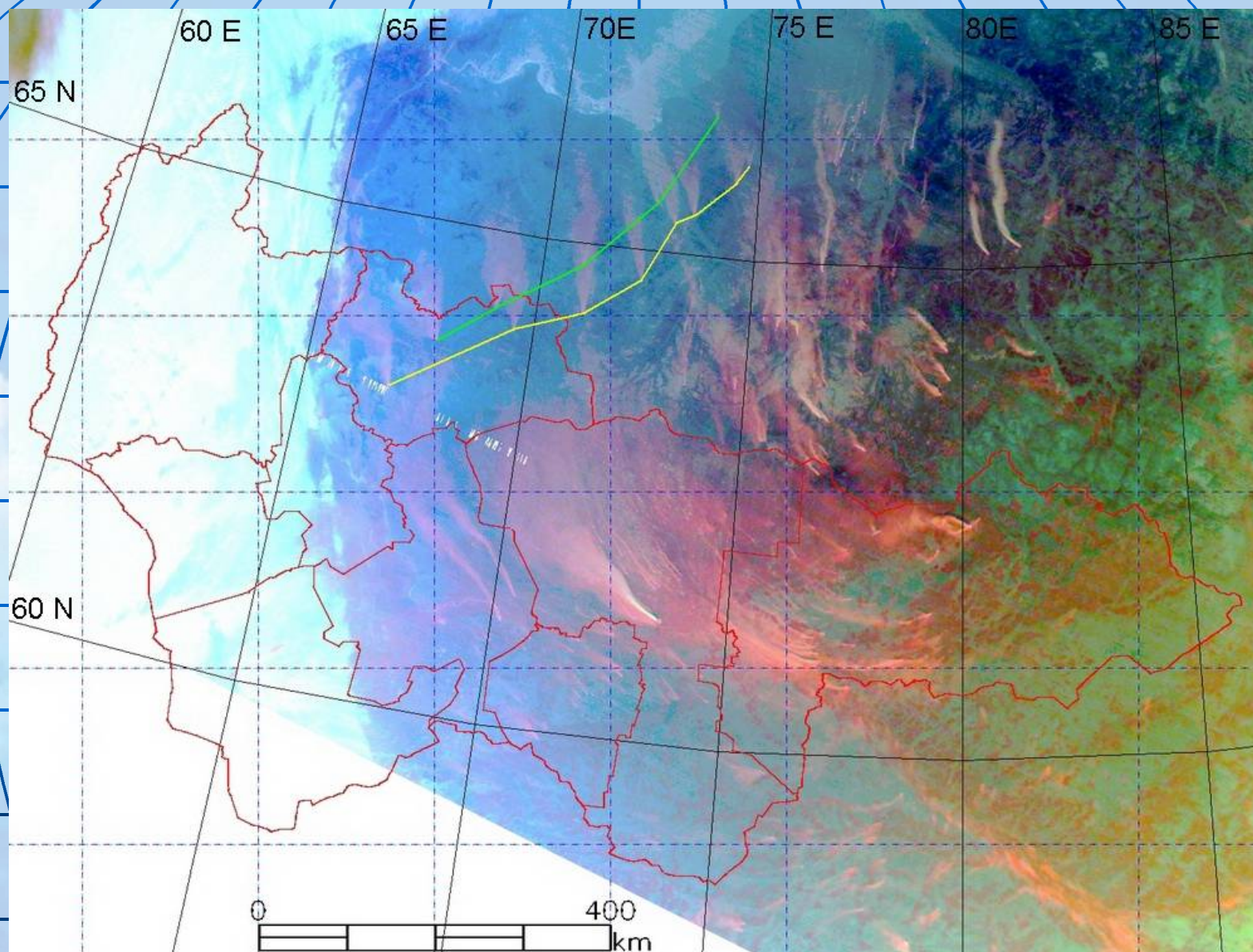
Парниковый эффект – роль водяного пара



Наличие в земной атмосфере водяного пара препятствует быстрому остыванию Земли. Земля излучает в окружающее пространство инфракрасное (тепловое) излучение. Однако водяной пар, достаточно хорошо пропускающий видимый свет поглощает инфракрасное излучение и тем самым нагревает окружающий воздух. Если бы этого не происходило, то средняя температура поверхности Земли оказалась бы значительно ниже 0 °C, в то время как сейчас она составляет 15 °C.



Вид ледника Килиманджаро на спутниковых снимках.
Начало 1990-х (слева). Начало 2000-х (справа).



Действующие объекты нефтегазового комплекса в Западной Сибири, являющиеся источниками выбросов метана (снимок MODIS со спутника Terra, январь 2006 г., предоставлен Югорским НИИ ИТ, г. Х-Мансийск)

Распределение прямой солнечной радиации

- Зависит от сезонных климатических особенностей
- Различают прямую солнечную радиацию, поступающую на земную поверхность и на границу атмосферы
- Максимальный поток летом на поверхности Земли – широты $30-40^{\circ}$, а на поверхности атмосферы – полярные широты.

Ослабление потока солнечной радиации

- Поглощается атмосферой – 25%, отражается - 30%, остальное нагревает земную поверхность и воздух.
- Закон ослабления (формула Бугэ):

$$I = I_0 r^m,$$

где, r – коэффициент прозрачности, показывающий, какая доля солнечной постоянной доходит до земной поверхности при отвесном падении солнечных лучей;

m – оптическая масса атмосферы;

I_0 – солнечная постоянная.

Атмосферное окно. Встречное излучение.

- Полоса длин волн (от 8 до 11 мкм), для которых атмосфера прозрачна.
- Пропускает излучение от земной поверхности и от верхней границы облаков через тропосферу и далее за пределы атмосферы в космос.
- Другое излучение Земли поглощается атмосферой, которая при этом нагревается.
- Дополнительно атмосфера нагревается за счет теплопроводности, испарения и конденсации водяного пара.
- Встречное излучение (E_a) – это излучение нагретой атмосферы обратно Земле.
- Парниковый эффект - повышение температуры поверхности за счет встречного излучения.

Альбе́до по́верхности

- Отношение количества отраженной радиации к общему количеству радиации.
- Выражается в %, изменяется в пределах 15-45%.
- Зависит от:
 - рельефа
 - наличия растительности
 - качественного состояния почвы
- Наиболее высокое альбе́до – полярные области (вызвано снежным покровом)
- Уменьшение в средних широтах – районы большой облачности из-за штормов на фронтах воздушных масс.
- Минимальное в субтропическом поясе (нет облаков)
- Планетарное альбе́до - доля солнечной радиации, отраженная земной поверхностью и атмосферой в целом.
- Большая часть – отражение облаками.

Эффективное излучение (E_e)

- Разность между собственным излучением Земли (E_s) и встречным излучением атмосферы (E_a) называется эффективным излучением (E_e).

$$E_e = E_s - E_a.$$

- На величину влияет погода (ясная погода – максимально, облачная – убывает)
- Все процессы излучения и поглощения солнечной радиации устанавливают равновесие между входящими в атмосферу и выходящим потоком радиации - радиационный баланс.

Радиационный баланс

- Разность между поглощенной радиацией и эффективным излучением.

$$R = (I_{\text{прям}} + i)(1 - A) - E_{\text{е}},$$

где I – прямая радиация;

i – рассеянная радиация;

A – коэффициент ослабления радиации для идеальной атмосферы;

$E_{\text{е}}$ – эффективное излучение.

- Радиационный баланс - соотношение между приходом и расходом солнечной радиации.
- Отрицательный ночью (зимой) и положительный днем (летом).
- В целом годовой радиационный баланс Земли положителен: существует избыток поглощаемой радиации (исключение Антарктида, Гренландия).

Нагревание суши

- Нагревается относительно быстро
- Малая теплоемкость
- Мало усваивает солнечного тепла и может быстро его отдать, остывать
- Возможны резкие колебания температуры суши:
 - **Максимум** – после полудня
 - **Минимум** – в момент восхода Солнца
 - **Облачность может сместить максимум и минимум**
- Суточные изменения видны только до глубины в 1 м, годовые – до 20-25 м
- **Пояс постоянных температур** – глубина на которой в течении года остается постоянной температура.
- Температура пояса постоянных температур равна среднегодовой температуре данной местности.

Нагрев воды

- Теплоемкость больше, чем у горных пород
- Теплопроводность меньше
- Турбулентные перемещения – тепло с поверхности перемещается на глубину
- Суточные колебания температур – 0,1-0,5°C
- Колебания проникают на глубину до 20 м

Изменение интенсивности суммарной радиации

- Зависит от состояния атмосферы.
- Максимум – субтропические пустыни, в тропиках
- В умеренном поясе – равномерно убывает с высотой
- Над океанами величина меньше, чем над сушей.
- В России возрастает с севера на юг и с запада на восток

Географическая (широтная) зональность

- По количеству поступающего тепла на Землю (по углу наклона солнечных лучей) выделяют широты:
 - 0-10° - экваториальные
 - 10-30° - тропические
 - 30-40° - субтропические
 - 40-60° - умеренные
 - 60-90° - приполярные
- Распределение суммарной радиации и радиационного баланса на планете - закон географической (широтной) зональности.

Распределение радиационного баланса

Широты	Суммарная радиация, ккал/(см ² год)	Радиационный баланс, %
Экваториальные	160-140	90-80
Тропические	220-180	80-70
Субтропические	180-110	70-50
Умеренные	110-60	50-20
Приполярные	менее 60	20-10

Влияние Солнца на магнитное поле Земли

Природа геомагнитных бурь

Геомагнитные бури – сильные возмущения магнитного поля Земли, происходящие вследствие мощных выбросов ионизированных частиц из атмосферы Солнца

Как возникают геомагнитные бури



Буря на Земле обычно происходит через 24-36 часов после вспышки на Солнце



Продолжительность геомагнитной бури – от нескольких часов до нескольких суток



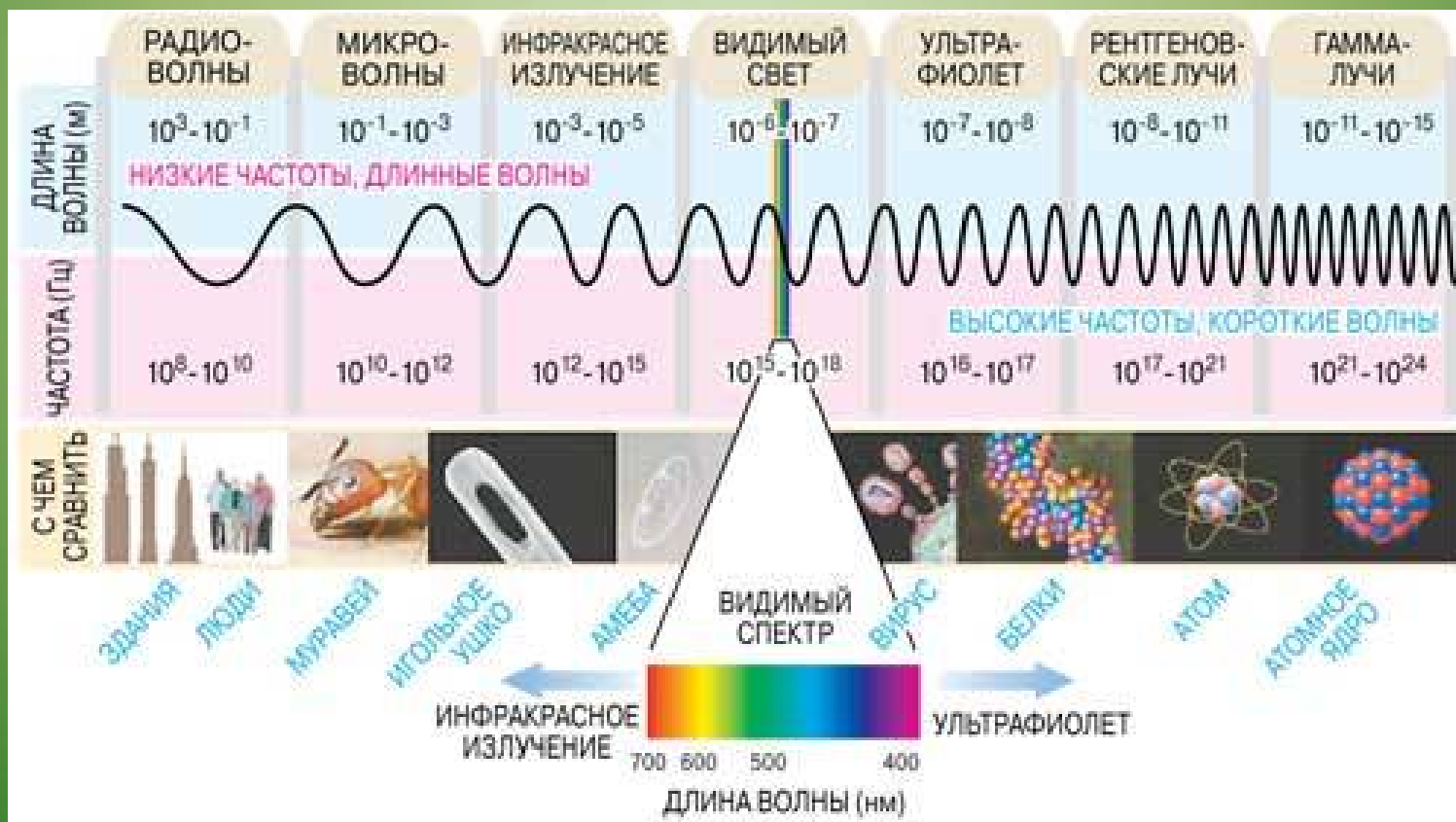
С наибольшей интенсивностью магнитные бури проявляются в северных широтах

Излучение Солнца

- Спектральный диапазон электромагнитного излучения Солнца очень широк — от радиоволн (Солнечные радио всплески) до рентгеновских лучей.
- Лучи с длиной волны **менее 290 нанометров** опасны для организмов

Излучение Солнца

- Атмосфера Земли служит барьером для жёсткого ультрафиолетового и рентгеновского излучения, однако она прозрачна в узком участке электромагнитного спектра. Эту область живые организмы воспринимают как свет.



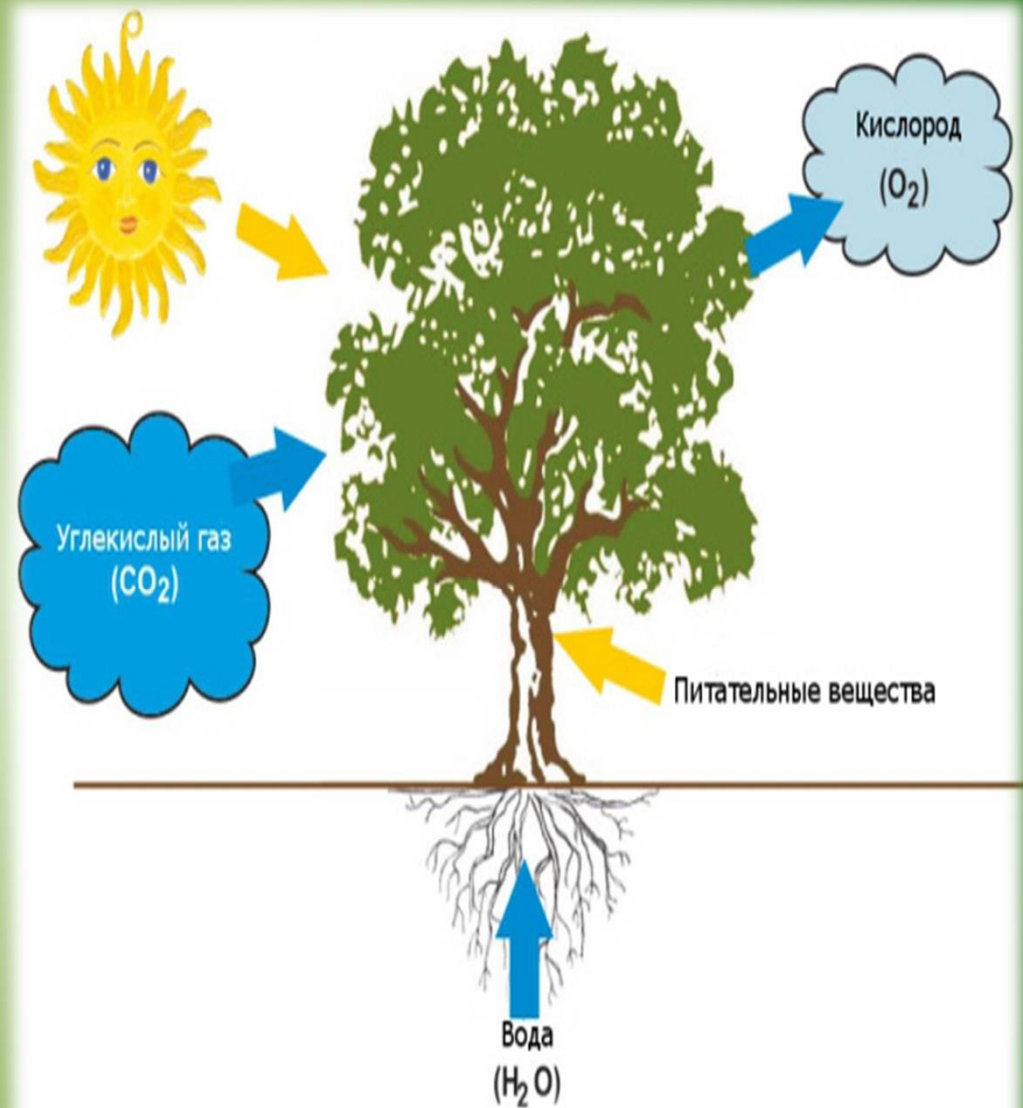
Излучение Солнца

- До земной поверхности солнечная радиация доходит в виде прямых и рассеянных лучей. Всего Земля получает от Солнца менее одной двухмиллиардной его излучения.

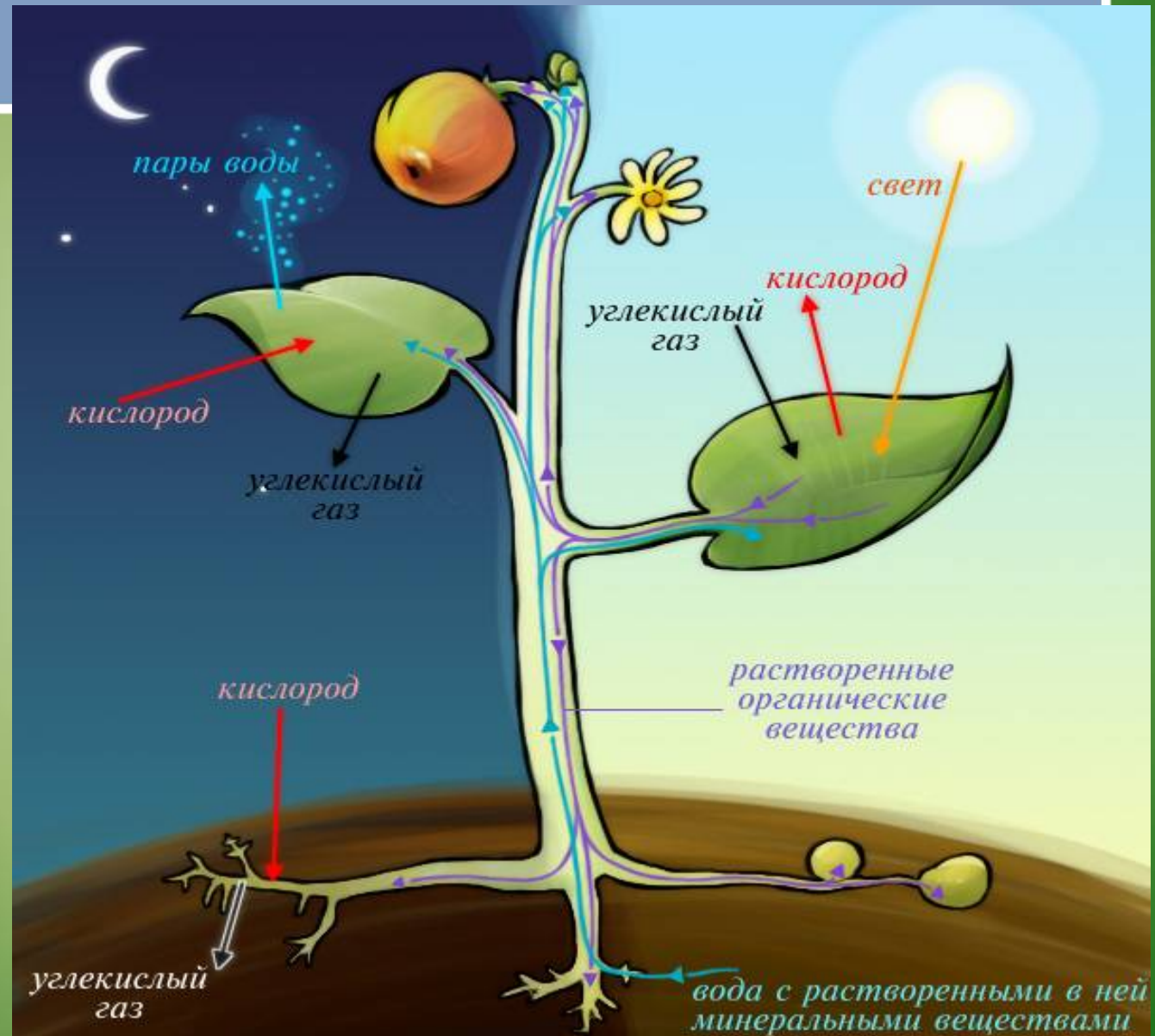


Фотосинтез

Фотосинтез-процесс преобразования энергии света в энергию химических связей органических веществ на свету фотоавтотрофами при участии фотосинтетических пигментов



Фотосинтез имеет две стадии: световую и темновую



Тепловой режим атмосферы

Лекция № 4

Тепловой баланс атмосферы

- Лучистая энергия Солнца – основной источник тепла для Земли и ее атмосферы.
- Превращается в тепловую в атмосфере, на поверхности почвы и воды.
- Затрачивается на испарение или конденсацию (LE)
- На теплообмен между поверхностью почвы и воздухом (P)
- Теплообмен между почвой и нижележащими слоями (A).
- Связь между этими величинами – **Уравнение теплового баланса:**

$$R=LE+P+A,$$

где R – радиационный баланс деятельной поверхности;

P – затраты тепла на турбулентный теплообмен;

A – теплообмен в почве;

LE – затраты тепла на испарение.

Географическое распределение составляющих теплового баланса

- Сложное
- Формирует ландшафтный лик Земли
 - LE/P
 - Небольшое значение – пустыни, сухие степи
 - Большое – влажный климат
- В различных формах рельефа, на различных типах почв неодинаков расход тепла на испарение
 - Пониженные, влажные участки – затраты на испарение выше
 - Водоразделы – ниже.
- Средняя величина турбулентного теплообмена (P) имеет асимметрический суточный ход
 - Пасмурный день – наименьшее значение

Интенсивность тепла в почве

- Характеризуется разностью температур между верхними и нижними горизонтами почвы
- Нагревание днем – тепловая волна, которая распространяется вглубь
- Ночь движение тепла направлено к поверхности.

Вывод: теплообмен между слоями почвы направлен вертикально вниз или вверх

Тепловой баланс «Земля – атмосфера»

- Частное выражение закона сохранения энергии.
- Перераспределение этой энергии – формирование определенных типов климатов, микроклиматов с характерными особенностями экологического равновесия.
- Для планеты в целом приход и расход тепла равны, т.е. тепловой баланс равен 0.
- Земля – планета, которая находится в тепловом равновесии.
- Главный аккумулятор солнечной энергии – почва.
- Тепловой режим почв оказывает влияние на процессы разложения органических веществ и жизнедеятельность почвенной микрофлоры, прорастание семян, образование корневой системы растений.

Температура почвы

- Солнечные лучи попадают на поверхность почвы, которая поглощает, отражает, излучает солнечную энергию.
- Тепло с поверхности почвы передается вглубь из-за теплопроводности почвы.
- Температура на поверхности и на глубине меняется в течении суток и года.

Суточный и годовой ход температур

- Днем: температура в верхних слоях выше, чем в нижних. Ночью – наоборот
- Суточный ход температуры:
 - Максимум – около 13ч
 - Минимум – перед восходом Солнца
- Затухание амплитуд колебаний температур – от 35 до 100 см.
- В течении года:
 - Максимум – июль или август
 - Минимум – январь или февраль

Факторы, влияющие на ход температур

- Растительный и снежный покров

Растения - препятствуют днем радиационному нагреву почв, ночью – уменьшают охлаждение почвы.

Снежный покров – нагревает почву на поверхности и в глубинах.

- Грунтовые воды
- Реки, озера, болота
- Типы и свойства почв
- Экологическое состояние атмосферы и почв

Температура воздуха

- Нагревается от поверхности суши и воды
- Утром – приток радиации возрастает – нагрев суши.
- Турбулентный теплообмен - нагрев воздуха от подстилающей поверхности
- Ночью – излучение почвой тепла – понижение температуры поверхности – воздух остается теплым, но охлаждается от подстилающей поверхности

Инверсия температур

- Явление, когда нижние слои воздуха холоднее верхних.
- Если изменение температуры воздушных масс происходит в горизонтальном направлении – адвекция

Факторы, влияющие на суточный ход

- Приток солнечной радиации
- Эффективное излучение
- Испарение влаги с деятельной поверхности
- Турбулентный теплообмен между деятельным слоем и атмосферой
- Теплообмен в почве

В различных географических условиях неодинаков суточный ход температуры воздуха.

Межсуточная изменчивость температуры

- Изменение средней суточной температуры воздуха от одних суток к другим
- Больше, чем чаще и сильнее адвективные изменения температуры.
- Заморозки – периоды, когда среднесуточная температура положительна, но есть кратковременные понижения температуры до 0°C и ниже.

Годовой ход температуры воздуха

- Изменение среднемесячных температур воздуха от месяца к месяцу
- Разность средних месячных температур самого теплого и самого холодного месяцев – годовая амплитуда температур(A)
- Значение ее растет с географической широтой, возрастает над сушей, убывает над океанами и с высотой местности

Континентальность климата

- Значение амплитуды годовых температур возрастает с ростом континентальности.
- Отражает особенности природы
- Характеристика климата для всех широт
- Показатель континентальности учитывает весь диапазон планетарных климатов
- Формула для определения коэффициента континентальности (Н.И. Иванова):

$$K = A / 0,334 \times 100\%$$

где А – годовая амплитуда температур воздуха;

К – коэффициент континентальности приземных масс воздуха.

Изотермы

- На распределение средних температур воздуха влияют:
 - Характер подстилающей поверхности
 - Циркуляция воздушных масс
 - Морские течения
- Изотермы – линии, соединяющие точки с одинаковыми значениями температур, наблюдаемых в разных местах.
- Температура воздуха убывает от экватора к полюсам
- От параллелей изотермы отклоняются из-за воздействия морских течений и снежного покрова, ледников и четкой смены растительных формаций, обусловленных особенностями ландшафта и горных массивов.
- Полюса холода: г.Оймякон и восточная часть Антарктиды

Тепловые пояса (широтная зональность)

- **Жаркий пояс**

Расположен по обе стороны от Экватора до 30 с. и ю. ш.

- **Два умеренных пояса**

Граница – изотерма $+10^{\circ}\text{C}$

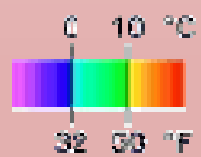
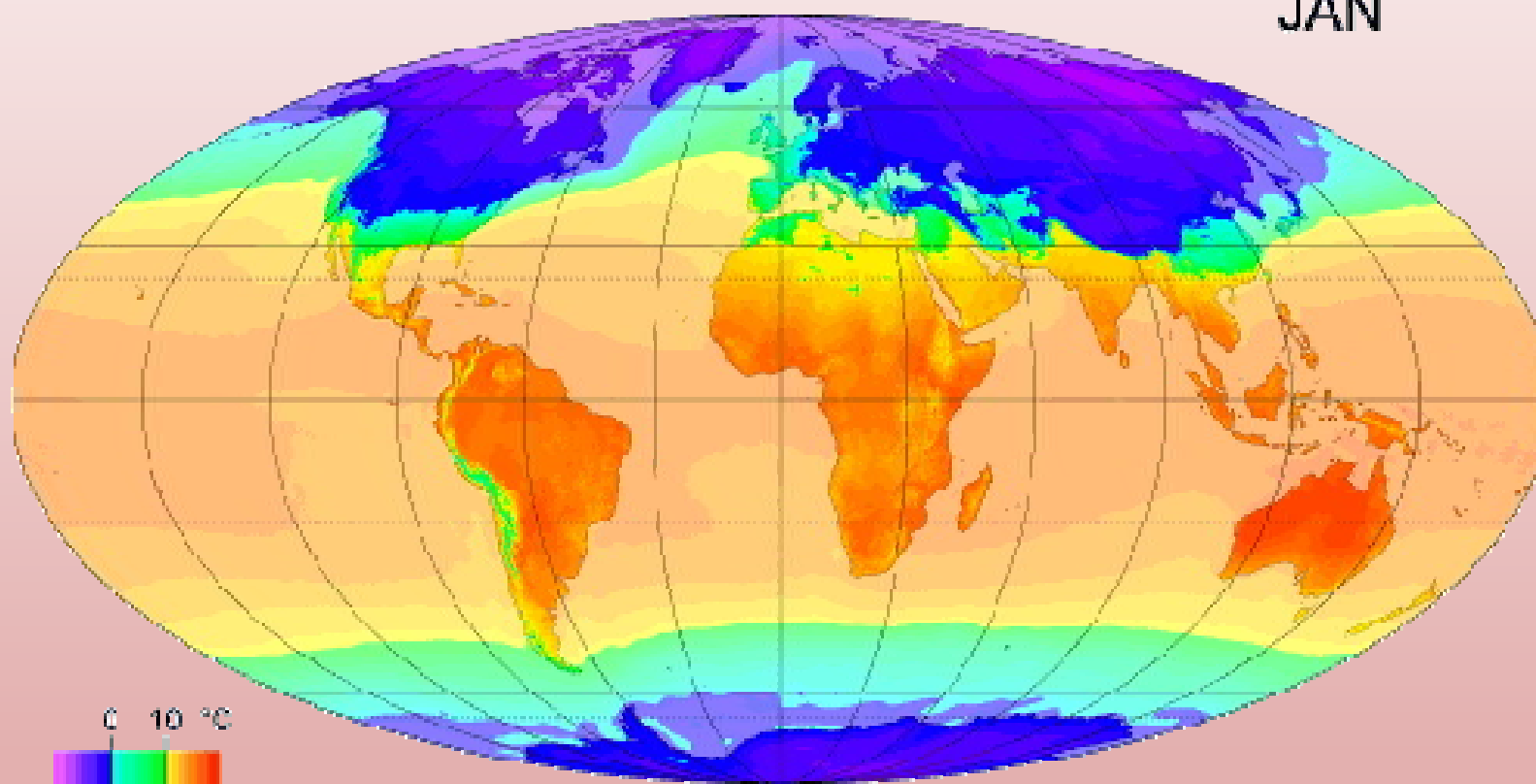
- **Два холодных пояса**

Между изотермами $+10$ и 0°C

- **Два пояса вечного мороза**

За пределами изотерм 0°C

JAN



Атмосферная циркуляция

Лекция № 5

Атмосферная циркуляция

- Система крупномасштабных воздушных течений на Земле
- Зависит от глобального распределения поясов высокого и низкого давления
- Причина основных движений воздуха: неравномерное распределение по земной поверхности температур, тепла и давления.

Атмосферное давление

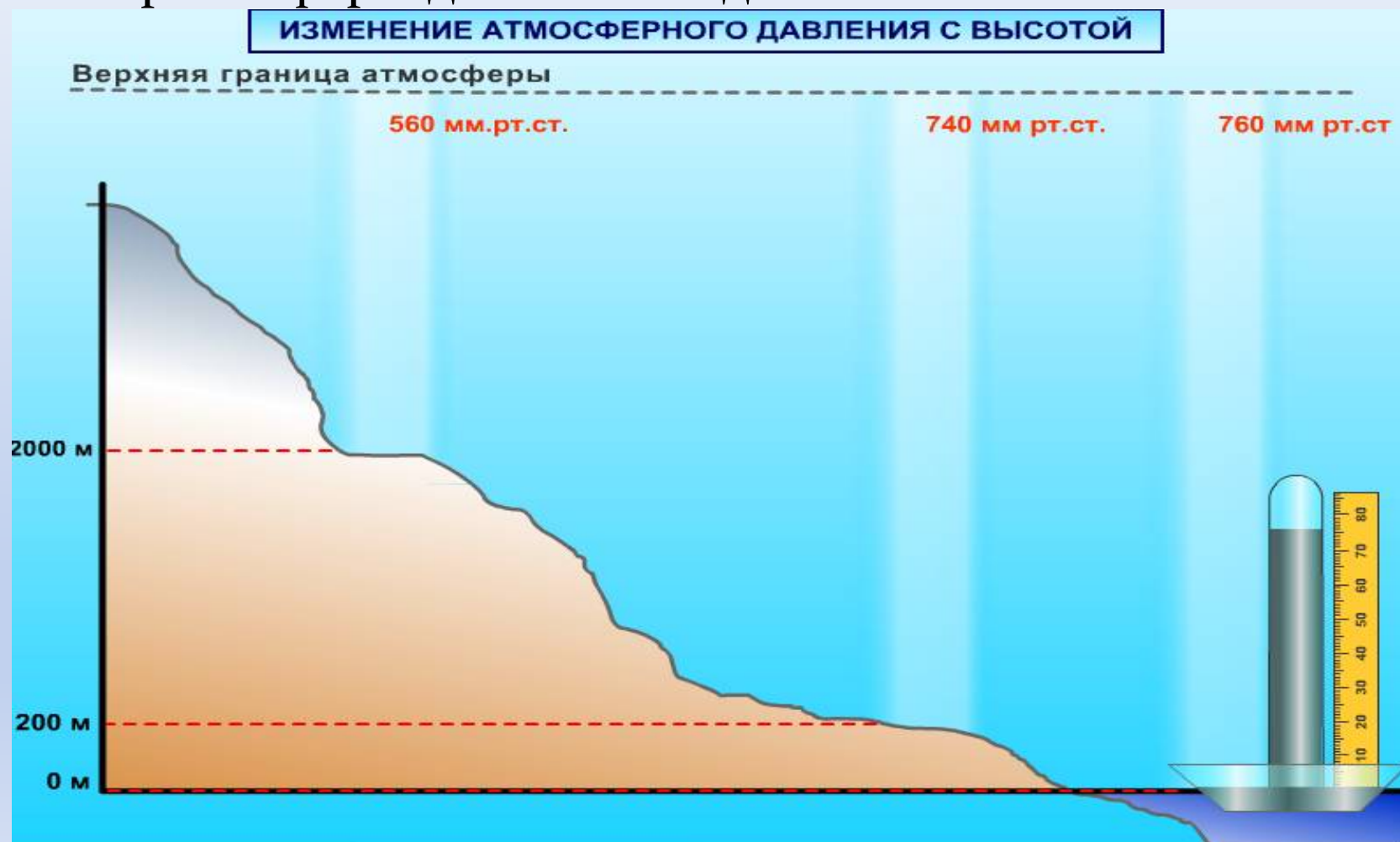
- Равно весу вертикального столба воздуха, простирающегося от любого заданного уровня до внешней границы атмосферы.
- Изменяется в миллиметрах ртутного столба (мм. рт. ст.), в миллибарах (мб), в гектопаскалях (гПа).
- (760мм рт. ст. = 1000 мб = 1000гПа)
- С высотой – убывает в зависимости от вертикального распределения плотности воздуха (температуры и влажности)

ДАВЛЕНИЕ



Как изменяется атмосферное давление?

С высотой давление понижается: на каждые 100 м подъёма давление снижается на 10 мм ртутного столбика. Это явление характерно только для нижних слоёв тропосферы. В верхних слоях тропосферы давление падает значительно меньше.



Барический градиент

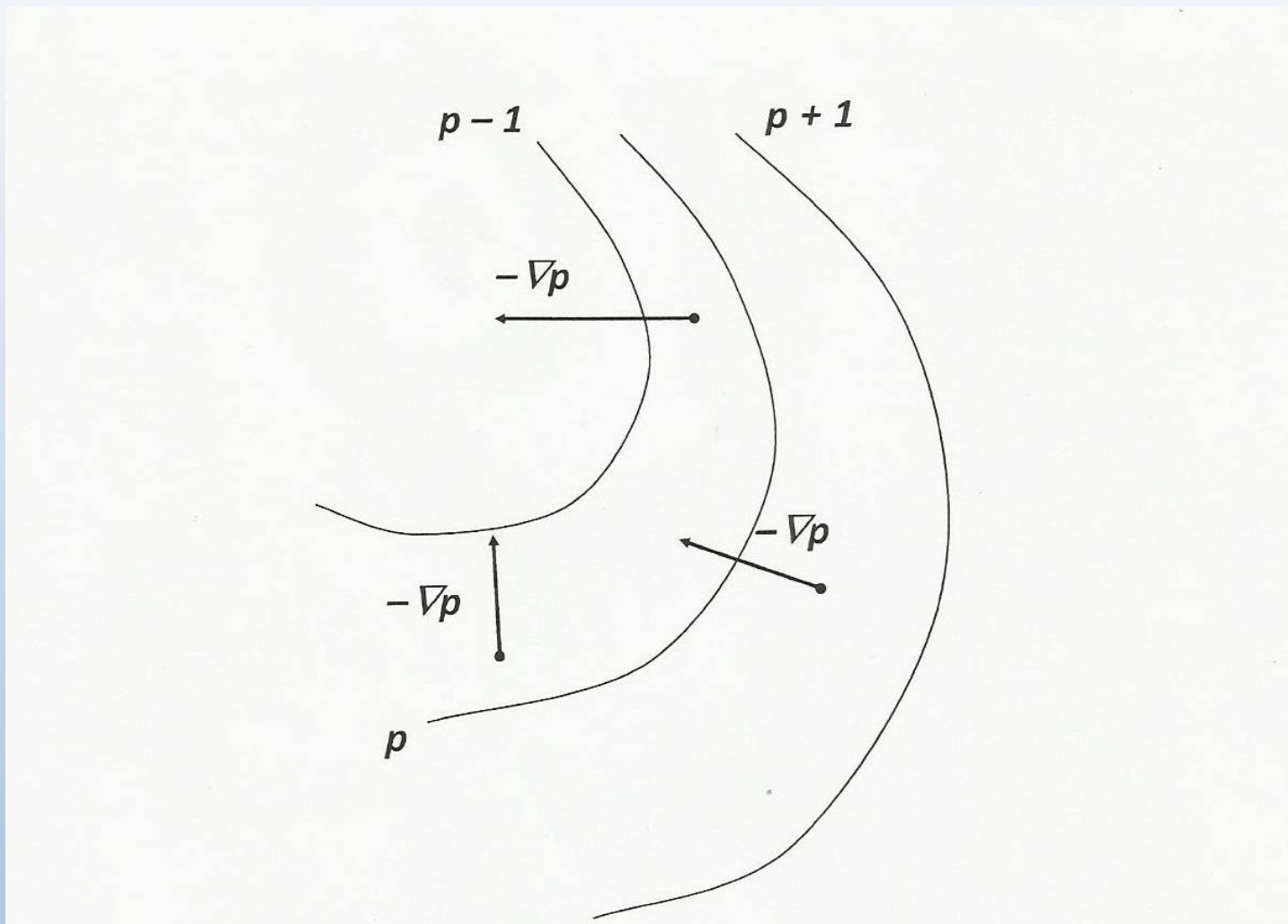
- На высоте 5 км – половина давления от давления на поверхности Земли. Воздух может сжиматься – давление с высотой падает не линейно, а в геометрической прогрессии.
- **Барическая ступень** – расстояние по вертикали (в м), соответствующие изменению атмосферного давления на 1 мб.
- Зависит от температуры воздуха (увеличивается в теплом воздухе)
- **Барический (барометрический) градиент** – величина, обратная барической ступени.

Горизонтальное распределение давления

- Распределяется неравномерно
- Величина меняется непрерывно
- Суточный и годовой ход (изменение давления).
- Изменения: периодические колебания, на которые накладываются непериодические колебания – пульсации давления в зависимости от места положения барических центров.

Барическое поле

- Пространственное распределение атмосферного давления называется **барическим полем**
- **Изобара** – линия, соединяющая пункты с одинаковым давлением
- Изменения барического поля, колебания атмосферного давления, отражаются на синоптических картах.
- Если карта характеризует на разных высотах давление – карты барической топографии.
- **Горизонтальный барический градиент (ГБГ)** – изменение давления на единицу расстояния в горизонтальной плоскости.
- Векторная величина: начало отчета – направление, где давление убывает наиболее значительно; длина пропорциональна числовому значению градиента.

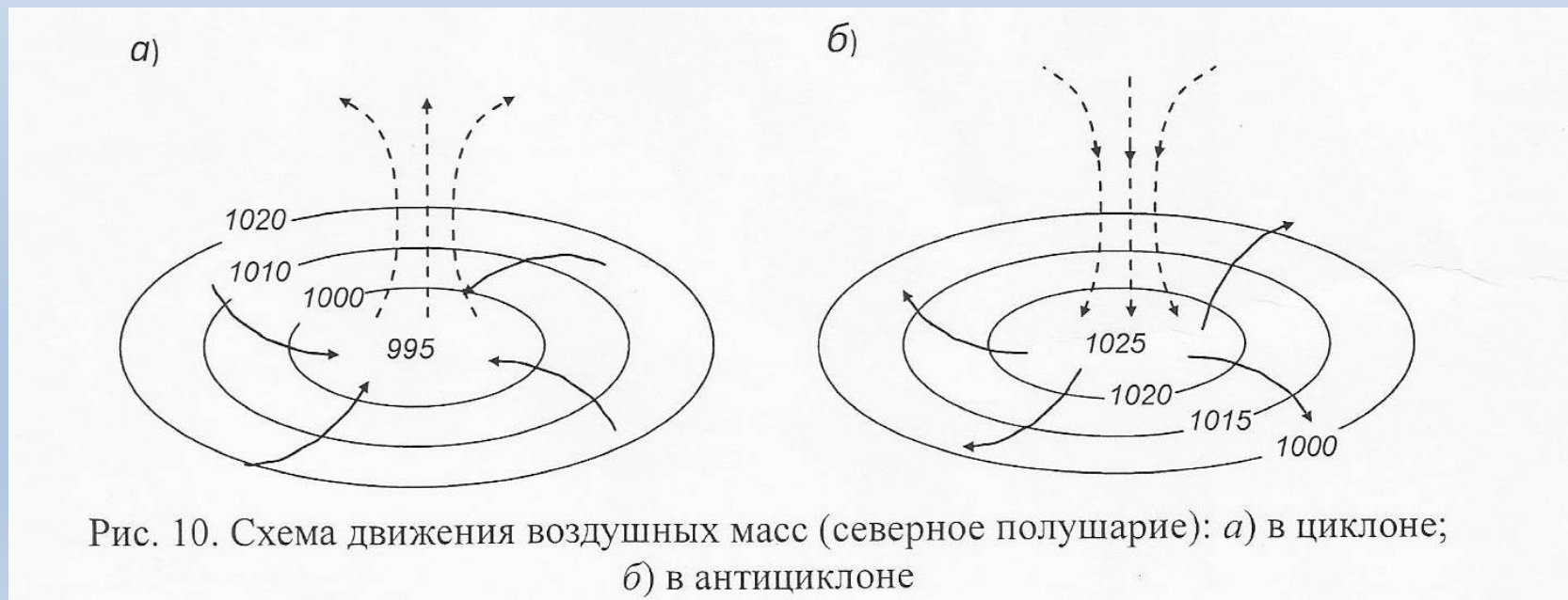


Изобары (p) и векторы давления (стрелки) в 3 точках барического поля

Барические системы

Реально давление изменяется повсеместно и формируются области повышенного или пониженного давления

- Виды барических систем: **циклоны**, **антициклоны**.



Циклоны

- Область действия пониженного или низкого давления.
- Минимальное давление – центр циклонального возмущения
- Ветер в северном полушарии – против часовой стрелки, в южном – по часовой стрелке
- Изобары – замкнутые кривые округлой или овальной формы
- Ветер усиливается к центру системы, давление возрастает к периферии
- Облачная, ветреная и дождливая погода
- Особенно мощные циклоны – тайфуны (ураганы)
- Образуются в тропических и субтропических областях
- Скорость ветра достигает 100 м/с
- Каждый тайфун имеет собственное женское имя.

Антициклон

- Область повышенного давления с максимумом в центре
- Изобары – замкнутые с систематическим убыванием давления к периферии
- В центре – штиль
- Преобладает безоблачная, сухая погода.

Воздушные массы

- Воздушные массы ВМ – относительно однородные массы воздуха, которые распространяются на несколько километров по вертикали и горизонтали.
- Обладают одинаковыми свойствами:
 - Температура (t)
 - Относительная влажность (r)
 - Прозрачность

Виды воздушных масс (вм)

1. По температурному признаку

- **Теплые** – ТВМ, поступающие на холодную поверхность, образуются в низких широтах.
- **Холодные ХВМ**, образуются в высоких широтах.

2. По генетическому (географическому) признаку:

- **Арктические (А)**
- **Полярные (П)**
- **Умеренные (У)**
- **Тропические (Т)**
- **Экваториальные (Э)**

Арктические и антарктические воздушные массы

- Низкая температура
- Малое содержание влаги
- Большая прозрачность воздуха
- В Антарктике нет деления на морской арктический и континентальный арктический воздух. Только континентальные ВМ.

Умеренные воздушные массы

- Формируются в северном и южном полушариях.
- Северное полушарие – континентальный воздух (КВ) и морской воздух (МВ)
- В южном полушарии почти нет КВ, только МВ
- УВМ имеют положительные летние и отрицательные зимние температуры.

Тропические воздушные массы

- Формируются в северном и южном полушариях.
- Состоят из континентального тропического воздуха и морского тропического воздуха.
- Высокие температуры в течении всего года

Экваториальный воздух

- Всегда морские ВМ.
- Высокие температуры
- Самая малая годовая амплитуда температуры (A_t)

Морские воздушные массы:

- Высокая влажность
- Меньшая амплитуда температур
- Более низкие летние и более высокие зимние температуры

Атмосферные фронты

- Поверхность раздела между теплыми и холодными воздушными массами.
- Пограничная зона, в которой сближаются воздушные массы, и их свойства резко меняются.
- Холодный воздух (более плотный и тяжелый) вклинивается под более теплый.
- Поверхность раздела воздушных масс не вертикальна, а наклонена в сторону холодного воздуха.
- Ширина атмосферного фронта – от нескольких км до десятков км.
- Нередко атмосферные фронты достигают тропопаузы.

Виды атмосферных фронтов

- **Холодный** – фронт, который перемещается в сторону высоких температур.
После прохождения холодного фронта – **похолодание**.
- **Теплый** – фронт, который перемещается в сторону низких температур.
После прохождения – **потепление**.
Восходящее движение ВМ над клином холодного воздуха
- **Чем больше разность температур** – тем резче выражен фронт, интенсивнее конденсация, образование облаков и тем больше осадков.

Основные факторы атмосферной циркуляции

- Лучистая энергия Солнца

- Вращение Земли

Влияние изменяется с широтой (в высоких широтах – значительно, нет на экваторе)

- Влияние подстилающей поверхности

Не ограничивается приземным слоем (вся тропосфера путем турбулентного перемешивания)

- Трение воздуха о земную поверхность

Уменьшает скорость воздушных течений и изменяет их направление.

Струйные течения

- Когда температурный фронт выражен резко и в верхнем слое тропосферы и в нижнем слое стратосферы, тогда формируется параллельное воздушное течение в несколько сотен км шириной со скоростью в 150-300 км/час.
- Эти сильные воздушные течения вблизи тропопаузы называются **струйными течениями**.
- Учет струйных течений очень важен для авиации, т.к. встречное струйное течение уменьшает скорость самолета, попутное-увеличивает.
- Струйное течение достаточно опасно, т.к. в его зоне может развиваться сильная турбулентность.

Глобальное распределение давления

- **Барическая депрессия** – полоса пониженного атмосферного давления вблизи экватора.
Может смещаться в сторону того полушария, где сейчас лето.
- На 30 – х широтах **давление повышенное**, т.к. здесь скапливаются массы воздуха с экватора и умеренных широт.
- На 60 –х широтах **давление низкое**, т.к. здесь скапливаются циклоны.
- В приполярных широтах **давление высокое**, т.к. здесь низкие температуры, воздух уплотняется и давит на Землю.

У полюсов под воздействием низкой температуры воздух становится более тяжелым и опускается. Поэтому у полюсов атмосферное давление, повышенное по сравнению с широтами на 60-65°.

Общая схема распределения атмосферного давления такова : вдоль экватора расположен пояс низкого давления; на 30-40° широты обоих полушарий — пояса высокого давления; 60-70° широты — зоны низкого давления; в приполярных районах — области высокого давления.

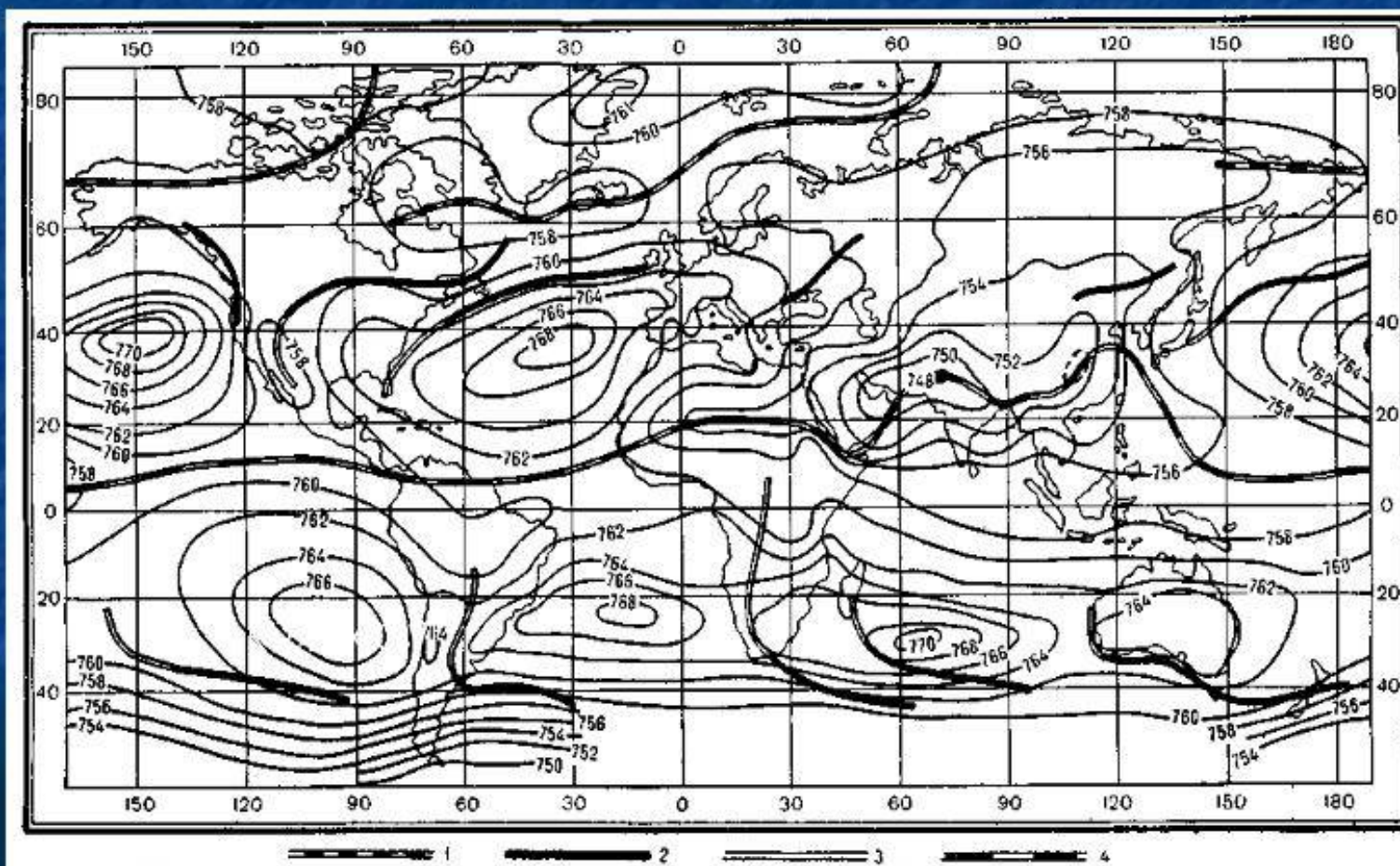


В результате того, что в умеренных широтах Северного полушария зимой атмосферное давление над материками сильно повышается, пояс низкого давления прерывается. Стоит заметить, что он сохраняется только над океанами в виде замкнутых областей пониженного давления — Исландского и Алеутского минимумов. Над материками, наоборот, образуются зимние максимумы: Азиатский и Северо-Американский.

Главные атмосферные фронты

КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ФРОНТЫ В ИЮЛЕ.

1 — АРКТИЧЕСКИЙ, 2 — ПОЛЯРНЫЙ, 3 — ПАССАТНЫЙ, 4 — ТРОПИЧЕСКИЙ



Устойчивые особенности общей циркуляции атмосферы

- Зональность циркуляции, обусловленная зональностью в распределении температур, атмосферного давления и ветра.
- Меридиональные составляющие общей циркуляции меньше, чем зональные, но имеют большое значение, т.к. именно они обуславливают обмен воздуха между различными широтами.
- Квазигеографичность течений общей циркуляции, т.е. это движение воздуха направленное вдоль изобар (приближенное к геострофическому ветру).

Загрязнение атмосферы в результате хозяйственной деятельности человека

Лекция № 6

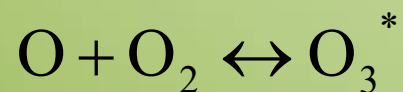
Озоновый слой атмосферы

Образование озона – химический процесс в атмосфере под действием солнечной радиации.

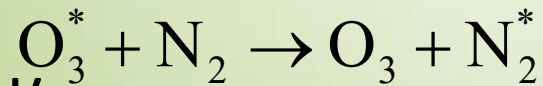
1. Поглощение солнечной ультрафиолетовой радиации молекулами кислорода и их диссоциация:



$$\chi = 242 \text{ нм}$$



2. Избыточная энергия возбужденных (неустойчивых) молекул озона передается другим молекулам (например, азоту):



Концентрация озона в атмосфере зависит от коротковолнового солнечного излучения.

Для стабилизации возбужденных атомов озона необходимо столкновение с другими атомами и молекулами.

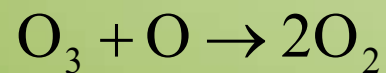
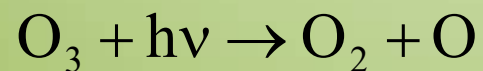
Интенсивность коротковолнового излучения падает при приближении к Земле. Поэтому диссоциация кислорода происходит преимущественно в верхних слоях атмосферы, но не очень высокие слои, т. к. для наличия частиц требует не слишком большого разряжения атмосферы.

Слой

Из-за особенностей получения озона образуется слой на высоте 40-50 км, который называется озоновым.

Поглощает ультрафиолетовое излучение Солнца.

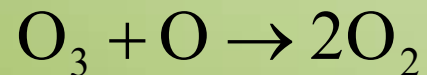
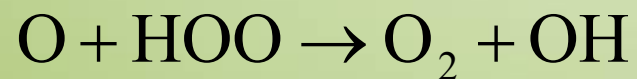
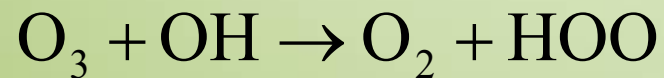
Накопление озона в слое – соотношение скоростей реакций его образования и разложения:



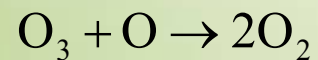
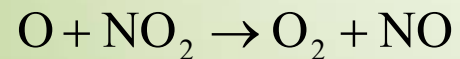
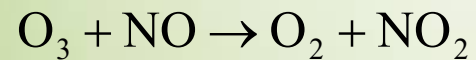
Циклы

Реакции образования и разложения озона ускоряются в присутствии водорода, азота, хлора.

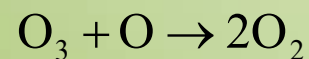
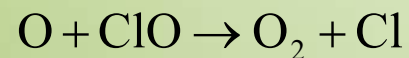
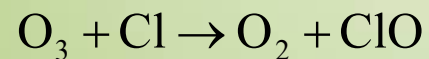
Водородный цикл:



Азотный цикл:



Хлорный цикл:



Каждый цикл – исчезновение озона и атомарного кислорода и постоянное восстановление гидроксильного радикала, оксида азота и атомарного хлора.

Антропогенное влияние

Антропогенные источники выбросов:

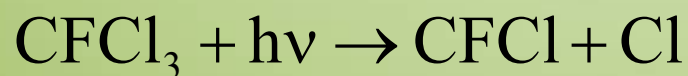
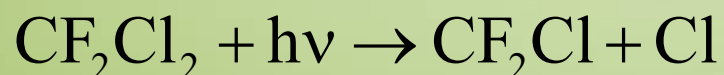
- Холодильники
- Аэрозольные установки, выделяющие галогенуглеводороды
- Разложение минеральных удобрений
- Полеты ракет и сверхзвуковых самолетов
- Ядерные взрывы

Хлорпроизводные антропогенного происхождения

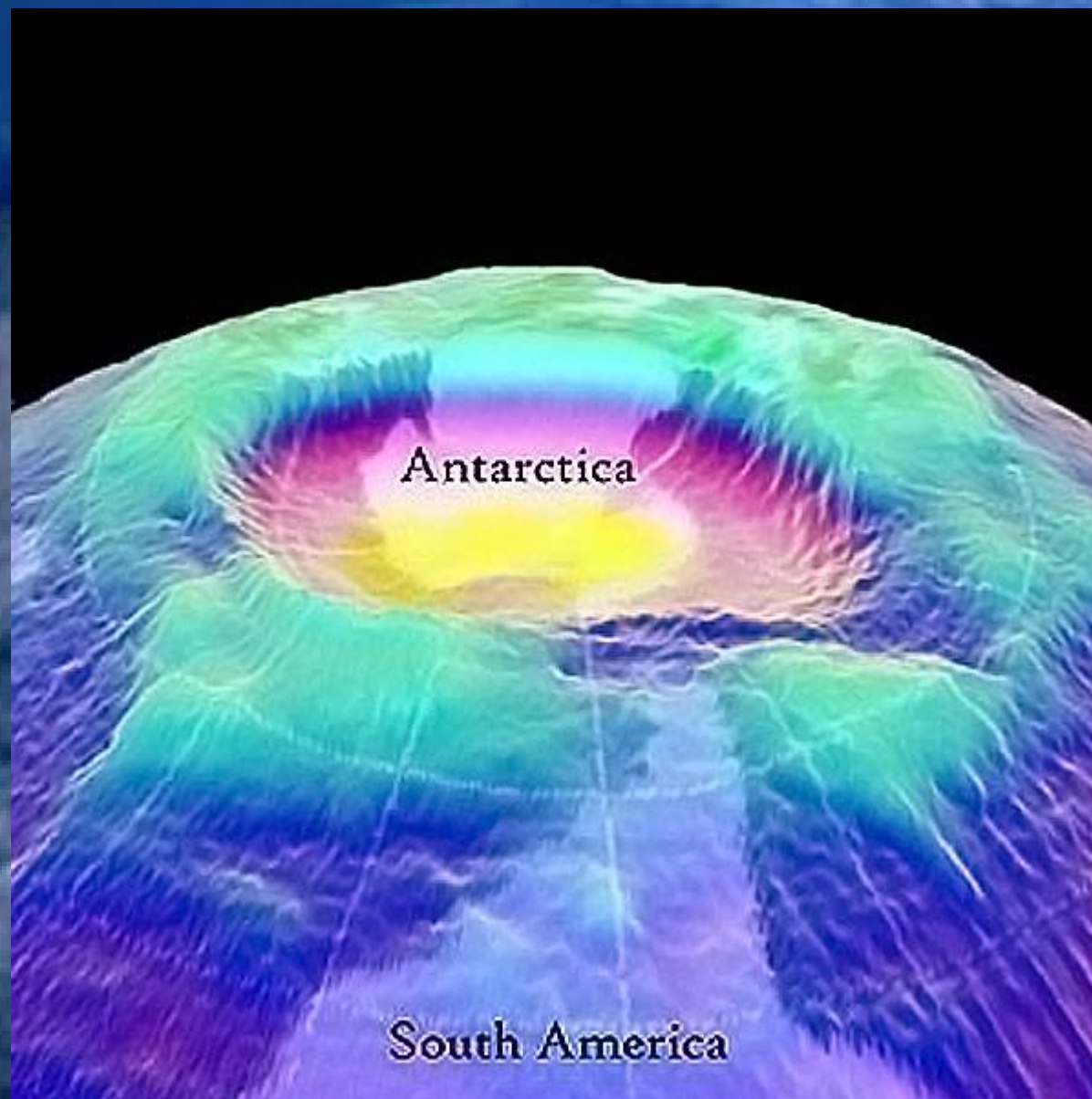
Метилхлороформ, метилхлорид.

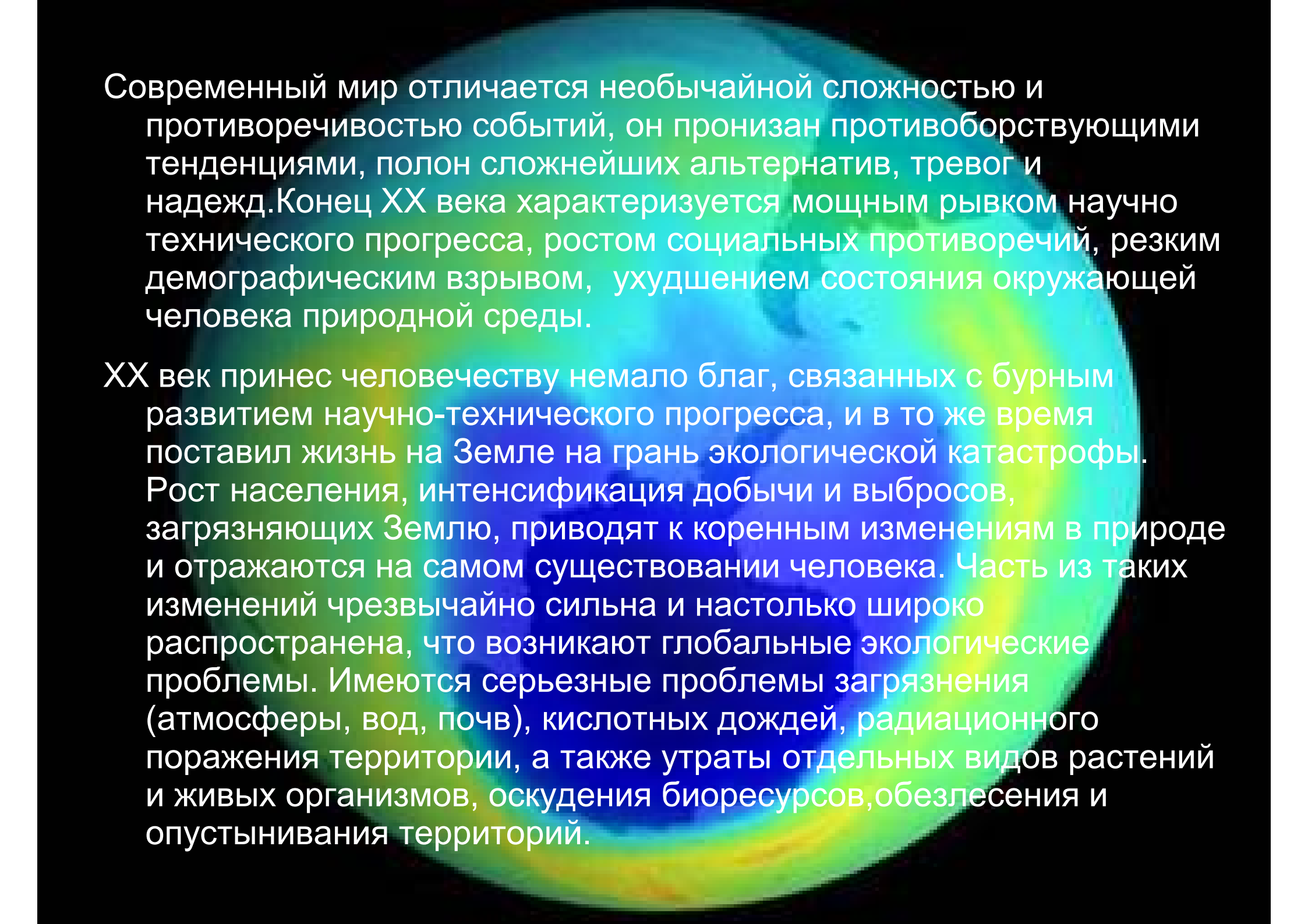
Фреоны в обычных условиях – химически инертны (время жизни в атмосфере – 50-200 лет.

Диффундируя в стратосферу, фреоны под действием света диссоциируют с образованием атомарного хлора, иницируя хлорный цикл.



Озоновый слой





Современный мир отличается необычайной сложностью и противоречивостью событий, он пронизан противоборствующими тенденциями, полон сложнейших альтернатив, тревог и надежд. Конец XX века характеризуется мощным рывком научно-технического прогресса, ростом социальных противоречий, резким демографическим взрывом, ухудшением состояния окружающей человека природной среды.

XX век принес человечеству немало благ, связанных с бурным развитием научно-технического прогресса, и в то же время поставил жизнь на Земле на грань экологической катастрофы. Рост населения, интенсификация добычи и выбросов, загрязняющих Землю, приводят к коренным изменениям в природе и отражаются на самом существовании человека. Часть из таких изменений чрезвычайно сильна и настолько широко распространена, что возникают глобальные экологические проблемы. Имеются серьезные проблемы загрязнения (атмосферы, вод, почв), кислотных дождей, радиационного поражения территории, а также утраты отдельных видов растений и живых организмов, оскудения биоресурсов, обезлесения и опустынивания территорий.

Из истории

С начала 20 века ученые наблюдают за состоянием озонового слоя атмосферы.

Сейчас уже все понимают, что стратосферный озон является своего рода естественным фильтром, препятствующим проникновению в нижние слои атмосферы жесткого космического излучения - ультрафиолета-В.

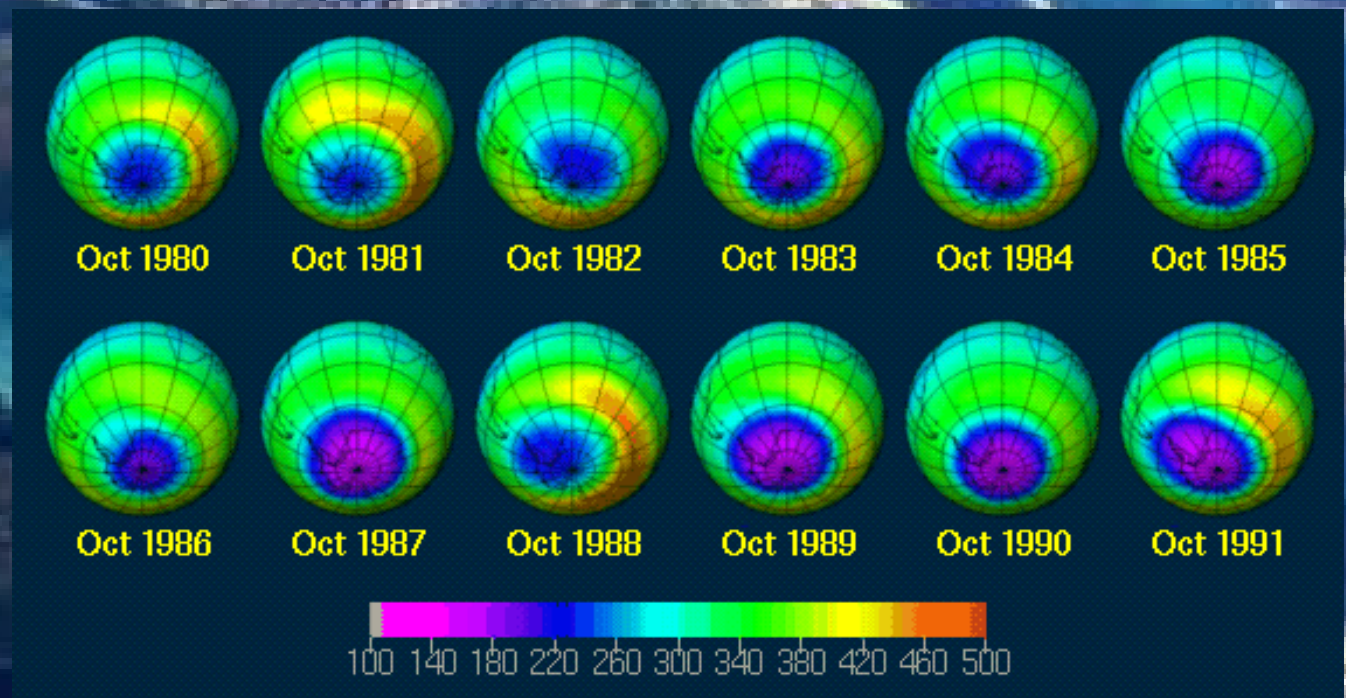
16 сентября 1987 г. был принят Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. Впоследствии по инициативе ООН этот день стал отмечаться как День защиты озонового слоя.

С конца 70-х годов ученые стали отмечать неуклонное истощение озонового слоя.

По мнению врачей, каждый потерянный процент озона в масштабах планеты вызывает до 150 тысяч дополнительных случаев слепоты из-за катаракты, на 2,6 процента увеличивается количество раковых заболеваний кожи, значительно возрастает число болезней, вызванных ослаблением иммунной системы человека.

Наибольшему риску подвержены жители северного полушария со светлой кожей. Но страдают не только люди. УФ-В излучение, к примеру, крайне вредно для планктона, мальков, креветок, крабов, водорослей, обитающих на поверхности океана.

Озоновая проблема, первоначально поднятая учеными, вскоре стала предметом политики



Местоположение и функции ОЗОНОВОГО СЛОЯ

Озон образуется в верхних слоях атмосферы из атомарного кислорода в результате химической реакции под влиянием солнечной радиации, вызывающей диссоциацию молекул кислорода.

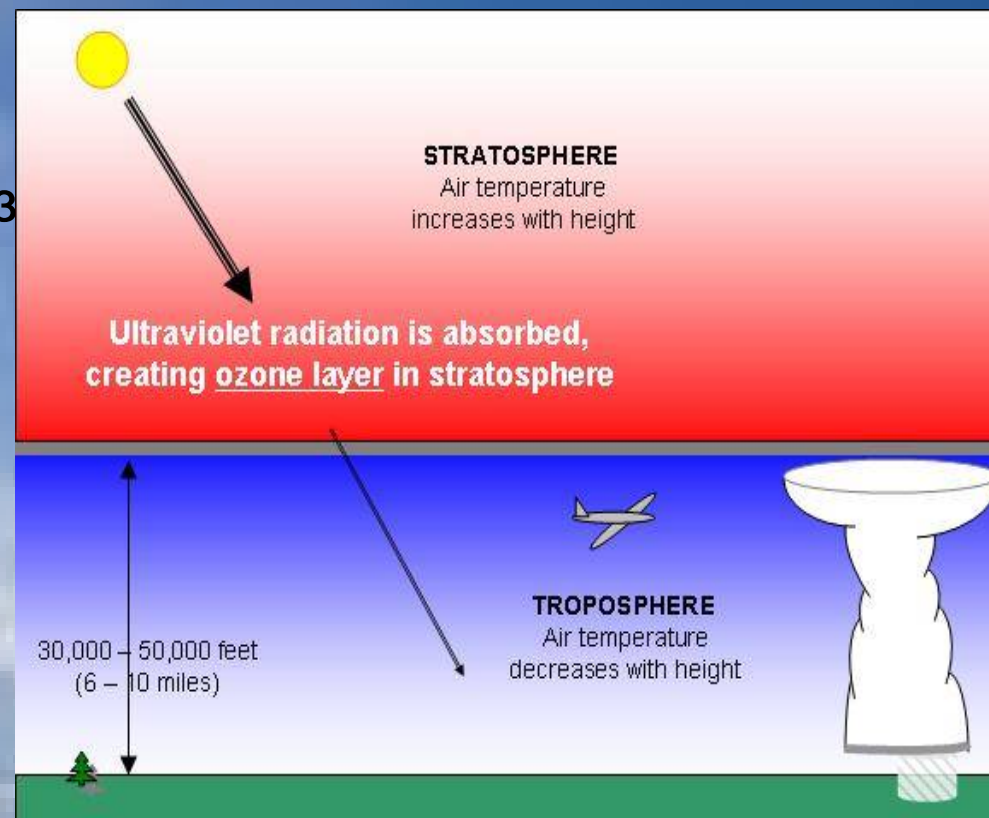
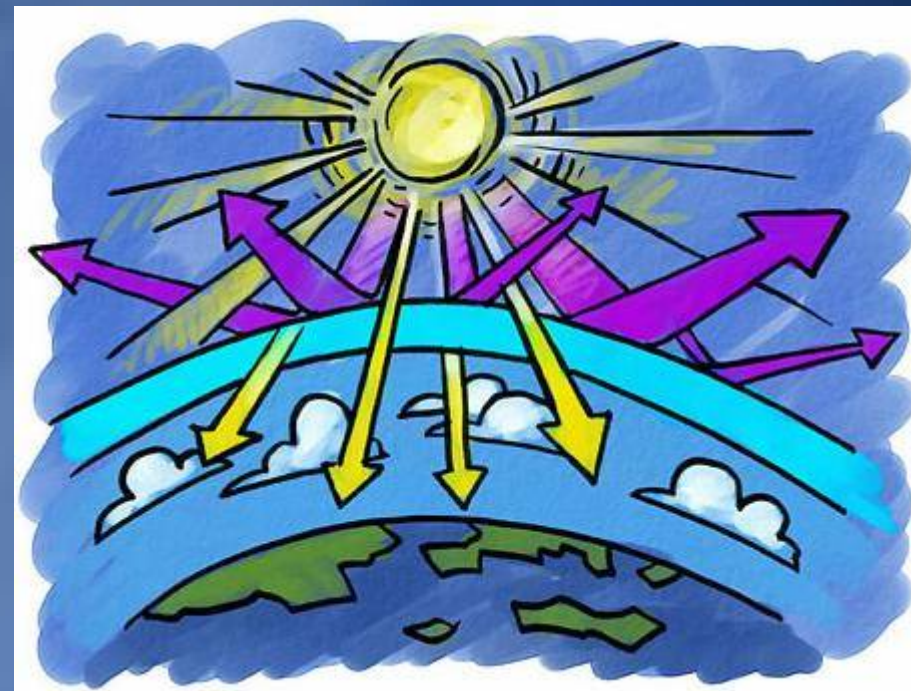
Озоновый «экран» расположен в стратосфере, на высотах от 7-8 км. на полюсах, 17-18 километров на экваторе и примерно до 50 километров над земной поверхностью. Гуще всего озон в слое 22 – 24 километров над Землей.

Слой озона удивительно тонок. Если бы этот газ сосредоточить у поверхности Земли, то он образовал бы пленку лишь в 2-4 мм толщиной (минимум – в районе экватора, максимум – у полюсов). Однако и эта пленка надежно защищает нас, почти полностью поглощая опасные ультрафиолетовые лучи. Без нее жизнь сохранилась бы лишь в глубинах вод (глубже 10 м) и в тех слоях почвы, куда не проникает солнечная радиация.

Озон поглощает некоторую часть инфракрасного излучения Земли. Благодаря этому он задерживает около 20% излучения Земли, повышая тепляющее действие атмосферы.

Озон – активный газ и может неблагоприятно действовать на человека. Обычно его концентрация в нижней атмосфере незначительна и он не оказывает вредного влияния на человека. Большие количества озона образуются в крупных городах с интенсивным движением автотранспорта в результате фотохимических превращений выхлопных газов автомашин.

Озон, также, регулирует жесткость космического излучения. Если этот газ хотя бы частично уничтожается, то, естественно жесткость излучения резко возрастает, а, следовательно, происходят реальные изменения растительного и животного мира.



Причины ослабления озонового щита

Озоновый слой защищает жизнь на Земле от вредного ультрафиолетового излучения Солнца. Обнаружено, что в течение многих лет озоновый слой претерпевает небольшое, но постоянное ослабление над некоторыми районами Земного шара, включая густо населенные районы в средних широтах Северного полушария. Над Антарктикой обнаружена обширная "озоновая дыра".

Разрушение озона происходит из-за воздействия ультрафиолетовой радиации, космических лучей некоторых газов: соединений азота, хлора и брома, фторхлоруглеродов (фреонов). Деятельность человека, приводящая к разрушению озонового слоя, вызывает наибольшую тревогу. Поэтому многие страны подписали международное соглашение, предусматривающее сокращение производства озоно-разрушающих веществ.

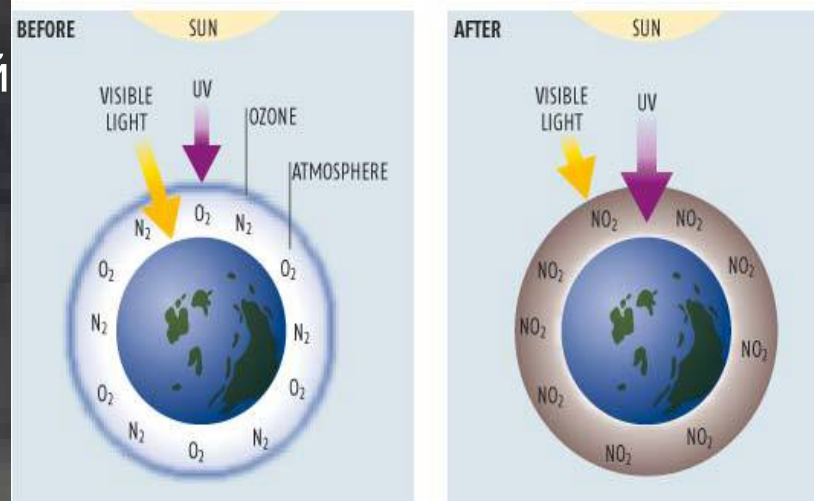
Однако озоновый слой разрушает также реактивная авиация и некоторые пуски космических ракет.

DOOMSDAY SCENARIO

Is this what caused the Ordovician extinction?

A nearby gamma-ray burst splits nitrogen and oxygen molecules in the atmosphere, forming nitrogen dioxide. NO_2 is a toxic brown gas, and it blocks out visible light from the sun. It also destroys the ozone layer, letting through dangerous levels of ultraviolet light.

Life on land and in shallow water is devastated, while deep-sea creatures are relatively unharmed



Предполагается множество причин ослабления озонового щита.

Во-первых, это запуски космических ракет.

Во-вторых, самолеты.

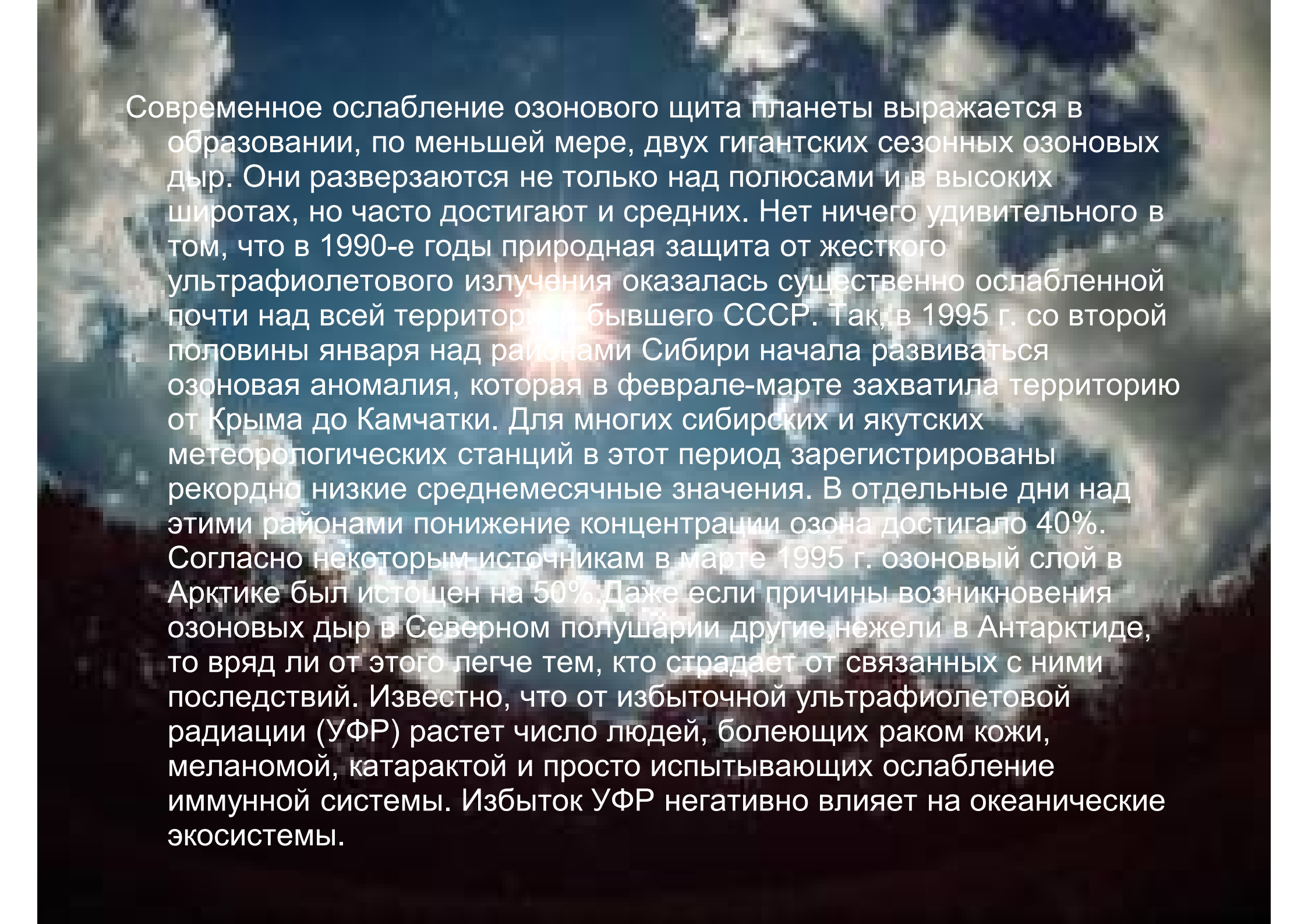
В-третьих, окислы азота.

В – четвертых, это хлор и его соединения с кислородом.

Фреоны – это не вступающие у поверхности Земли ни в какие химические реакции газы, кипящие при комнатной температуре, а потому резко увеличивающие свой объем, что делает их хорошими распылителями. Поскольку при их расширении снижается их температура, фреоны широко используют в холодильной промышленности.

Изучение проблемы озонового слоя

В изучении проблемы озонового слоя наука оказалась удивительно недалёковидной. Ещё с 1975 г. содержание стратосферного озона над Антарктидой в весенние месяцы стало заметно падать. В середине 1980-х годов его концентрация снизилась уже на 40%. Вполне можно было говорить об образовании озоновой дыры. Её размеры достигли примерно площади США. Тогда же появились ещё слабовыраженные - со снижением концентрации озона на 1,5-2,5% - дыры вблизи Северного полюса и южнее. Край одной из них зависал даже над Санкт-Петербургом. Однако ещё в первой половине 1980-х некоторые ученые продолжали рисовать радужную перспективу, предвещая убыль стратосферного озона лишь на 1-2% и то чуть ли не через 70-100 лет.

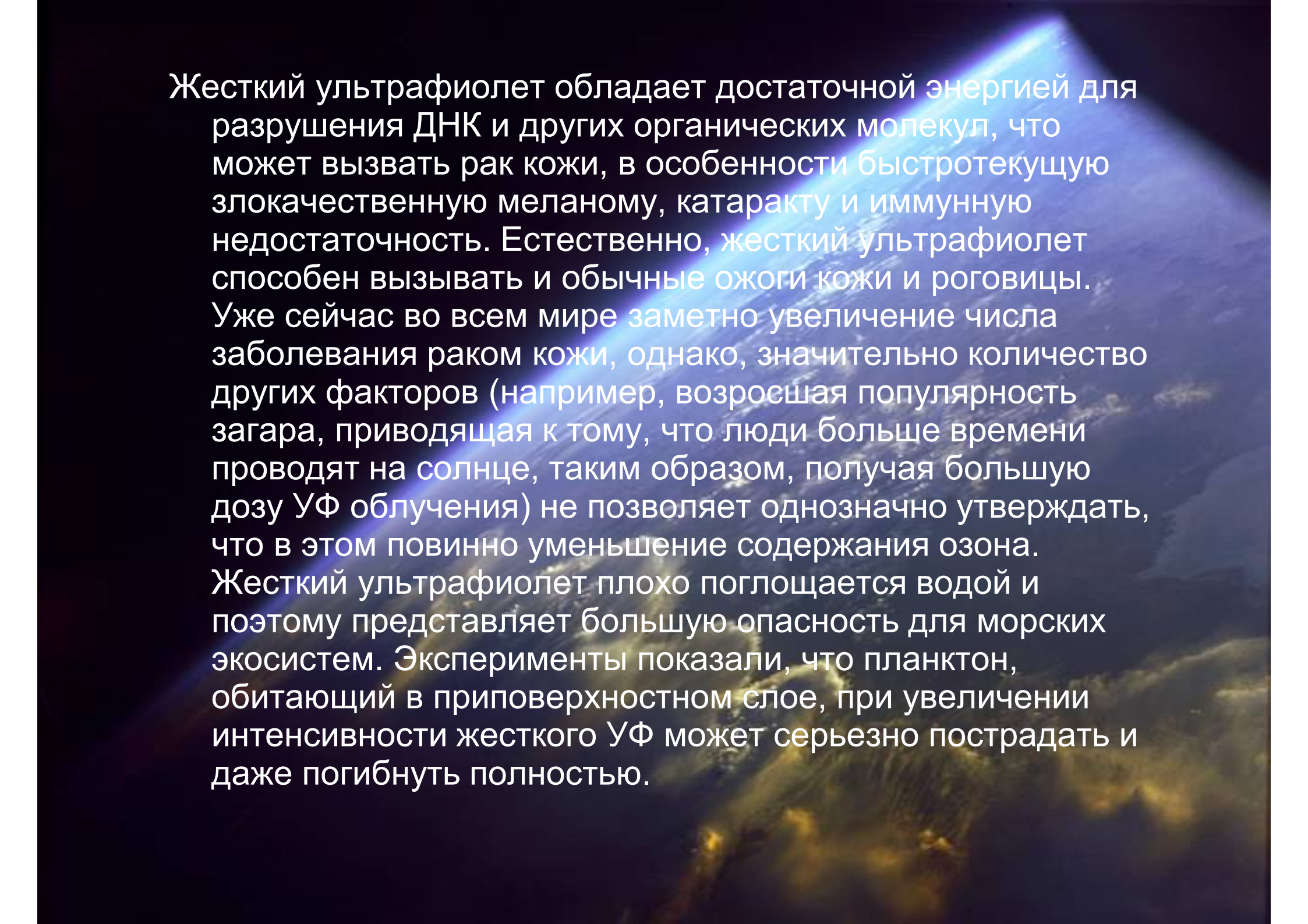


Современное ослабление озонового щита планеты выражается в образовании, по меньшей мере, двух гигантских сезонных озоновых дыр. Они разверзаются не только над полюсами и в высоких широтах, но часто достигают и средних. Нет ничего удивительного в том, что в 1990-е годы природная защита от жесткого ультрафиолетового излучения оказалась существенно ослабленной почти над всей территорией бывшего СССР. Так, в 1995 г. со второй половины января над районами Сибири начала развиваться озоновая аномалия, которая в феврале-марте захватила территорию от Крыма до Камчатки. Для многих сибирских и якутских метеорологических станций в этот период зарегистрированы рекордно низкие среднемесячные значения. В отдельные дни над этими районами понижение концентрации озона достигало 40%. Согласно некоторым источникам в марте 1995 г. озоновый слой в Арктике был истощен на 50%. Даже если причины возникновения озоновых дыр в Северном полушарии другие, нежели в Антарктиде, то вряд ли от этого легче тем, кто страдает от связанных с ними последствий. Известно, что от избыточной ультрафиолетовой радиации (УФР) растет число людей, болеющих раком кожи, меланомой, катарактой и просто испытывающих ослабление иммунной системы. Избыток УФР негативно влияет на океанические экосистемы.

Разрушение озонового слоя Земли хлорфторуглеводородами

В среднем по Земле с 1979 по 1990 г. содержание озона упало на 5%. Это открытие обеспокоило как ученых, так и широкую общественность, поскольку из него следовало, что слой озона, окружающий нашу планету, находится в большей опасности, чем считалось ранее. Утончение этого слоя может привести к серьезным последствиям для человечества. Содержание озона в атмосфере менее 0.0001%, однако, именно озон полностью поглощает жесткое ультрафиолетовое излучение солнца с длиной волны $\lambda < 280$ нм.



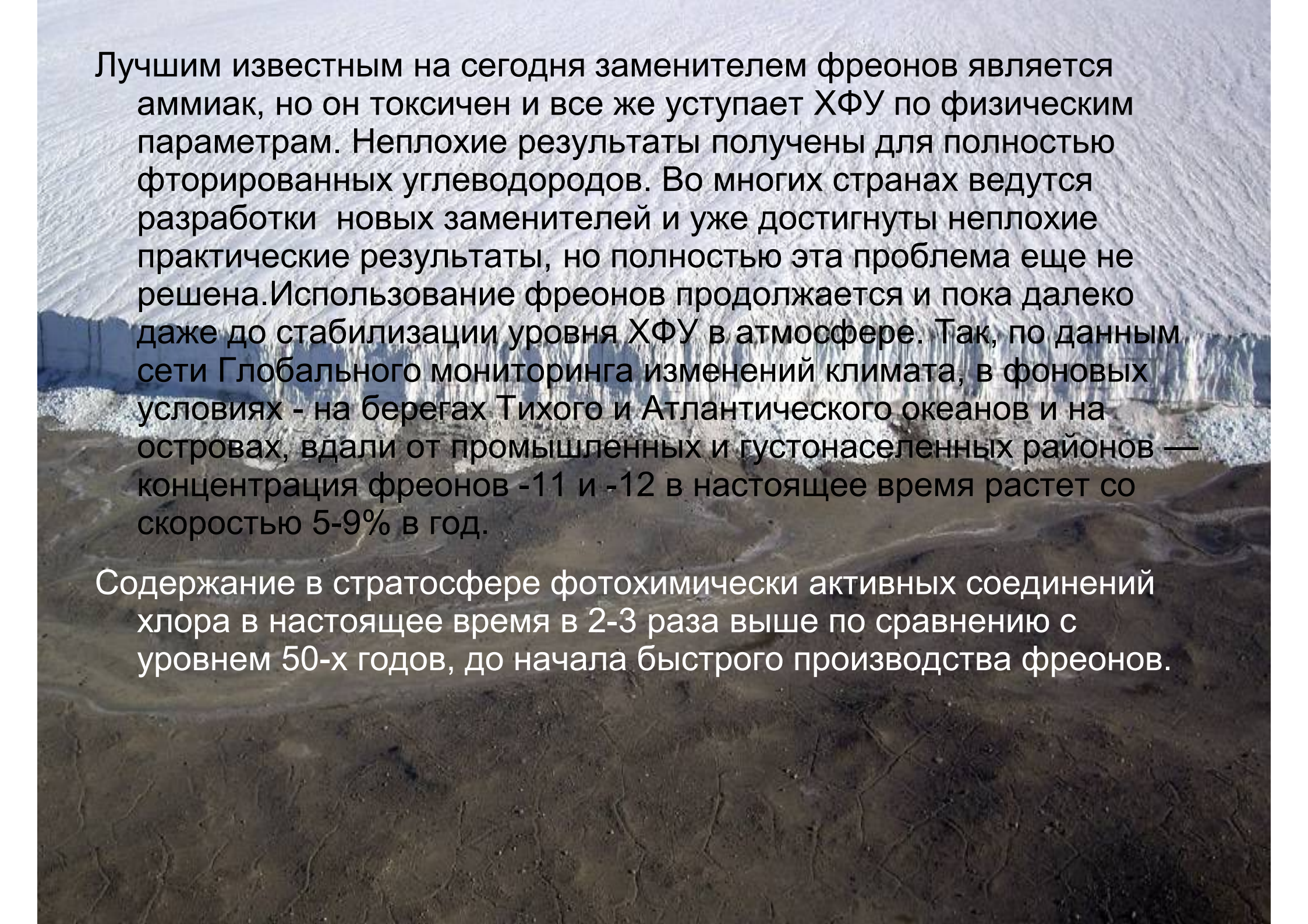
The background of the slide is a photograph of a sky at dusk or dawn. A bright, intense blue light source, possibly the sun or moon, is visible in the upper left, creating a strong lens flare and illuminating the scene. The sky is filled with wispy, golden-yellow clouds that catch the low light, contrasting with the deep blue of the upper atmosphere. The overall mood is dramatic and atmospheric.

Жесткий ультрафиолет обладает достаточной энергией для разрушения ДНК и других органических молекул, что может вызвать рак кожи, в особенности быстротекущую злокачественную меланому, катаракту и иммунную недостаточность. Естественно, жесткий ультрафиолет способен вызывать и обычные ожоги кожи и роговицы. Уже сейчас во всем мире заметно увеличение числа заболеваний раком кожи, однако, значительно количество других факторов (например, возросшая популярность загара, приводящая к тому, что люди больше времени проводят на солнце, таким образом, получая большую дозу УФ облучения) не позволяет однозначно утверждать, что в этом повинно уменьшение содержания озона. Жесткий ультрафиолет плохо поглощается водой и поэтому представляет большую опасность для морских экосистем. Эксперименты показали, что планктон, обитающий в приповерхностном слое, при увеличении интенсивности жесткого УФ может серьезно пострадать и даже погибнуть полностью.

Что было сделано в области защиты озонового слоя

Под давлением этих аргументов многие страны начали принимать меры направленные на сокращение производства и использования ХФУ.

Под давлением этих аргументов многие страны начали принимать меры, направленные на сокращение производства и использования ХФУ. С 1978 г. в США было запрещено использование ХФУ в аэрозолях. Для использования в качестве пропеллента в аэрозолях уже найден неплохой заменитель ХФУ - пропан-бутановая смесь. По физическим параметрам она практически не уступает фреонам, но, в отличие от них, огнеопасна. Тем не менее, такие аэрозоли уже производятся во многих странах, в том числе и в России. Сложнее обстоит дело с холодильными установками - вторым по величине потребителем фреонов. Дело в том, что из-за полярности молекулы ХФУ имеют высокую теплоту испарения, что очень важно для рабочего тела в холодильниках и кондиционерах.

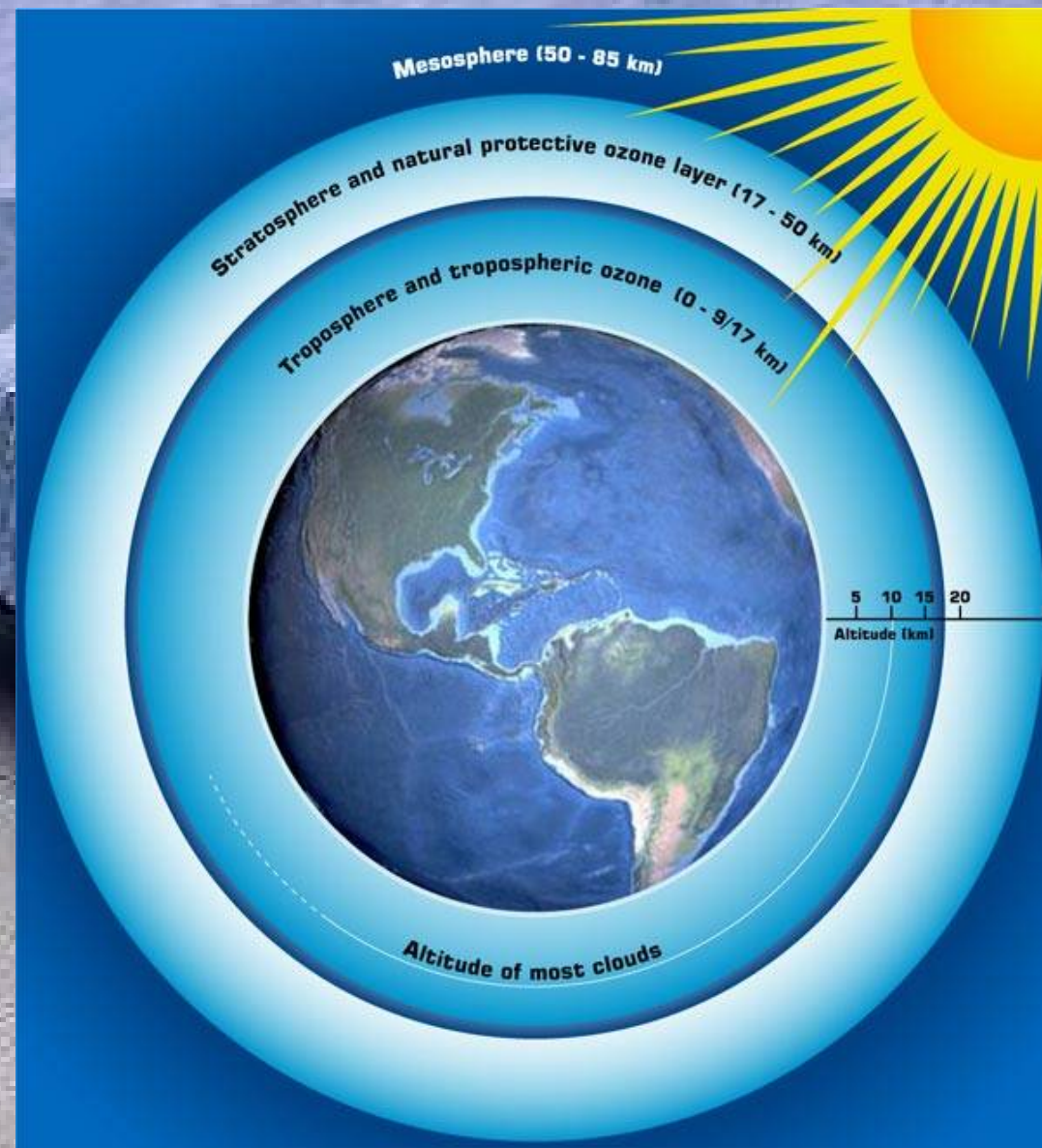


Лучшим известным на сегодня заменителем фреонов является аммиак, но он токсичен и все же уступает ХФУ по физическим параметрам. Неплохие результаты получены для полностью фторированных углеводородов. Во многих странах ведутся разработки новых заменителей и уже достигнуты неплохие практические результаты, но полностью эта проблема еще не решена. Использование фреонов продолжается и пока далеко даже до стабилизации уровня ХФУ в атмосфере. Так, по данным сети Глобального мониторинга изменений климата, в фоновых условиях - на берегах Тихого и Атлантического океанов и на островах, вдали от промышленных и густонаселенных районов — концентрация фреонов -11 и -12 в настоящее время растет со скоростью 5-9% в год.

Содержание в стратосфере фотохимически активных соединений хлора в настоящее время в 2-3 раза выше по сравнению с уровнем 50-х годов, до начала быстрого производства фреонов.

Факты

Вместе с тем, ранние прогнозы, предсказывающие, например, что при сохранении современного уровня выброса ХФУ, к середине XXI в. содержание озона в стратосфере может упасть вдвое, возможно были слишком пессимистичны. Во-первых, дыра над Антарктидой во многом является следствием метеорологических процессов. Образование озона возможно только при наличии ультрафиолета и во время полярной ночи не идет. Зимой над Антарктикой образуется устойчивый вихрь, препятствующий притоку богатого озоном воздуха со средних широт. Поэтому к весне даже небольшое количество активного хлора способно нанести серьезный ущерб озоному слою. Такой вихрь практически отсутствует над Арктикой, поэтому в северном полушарии падение концентрации озона значительно меньше.

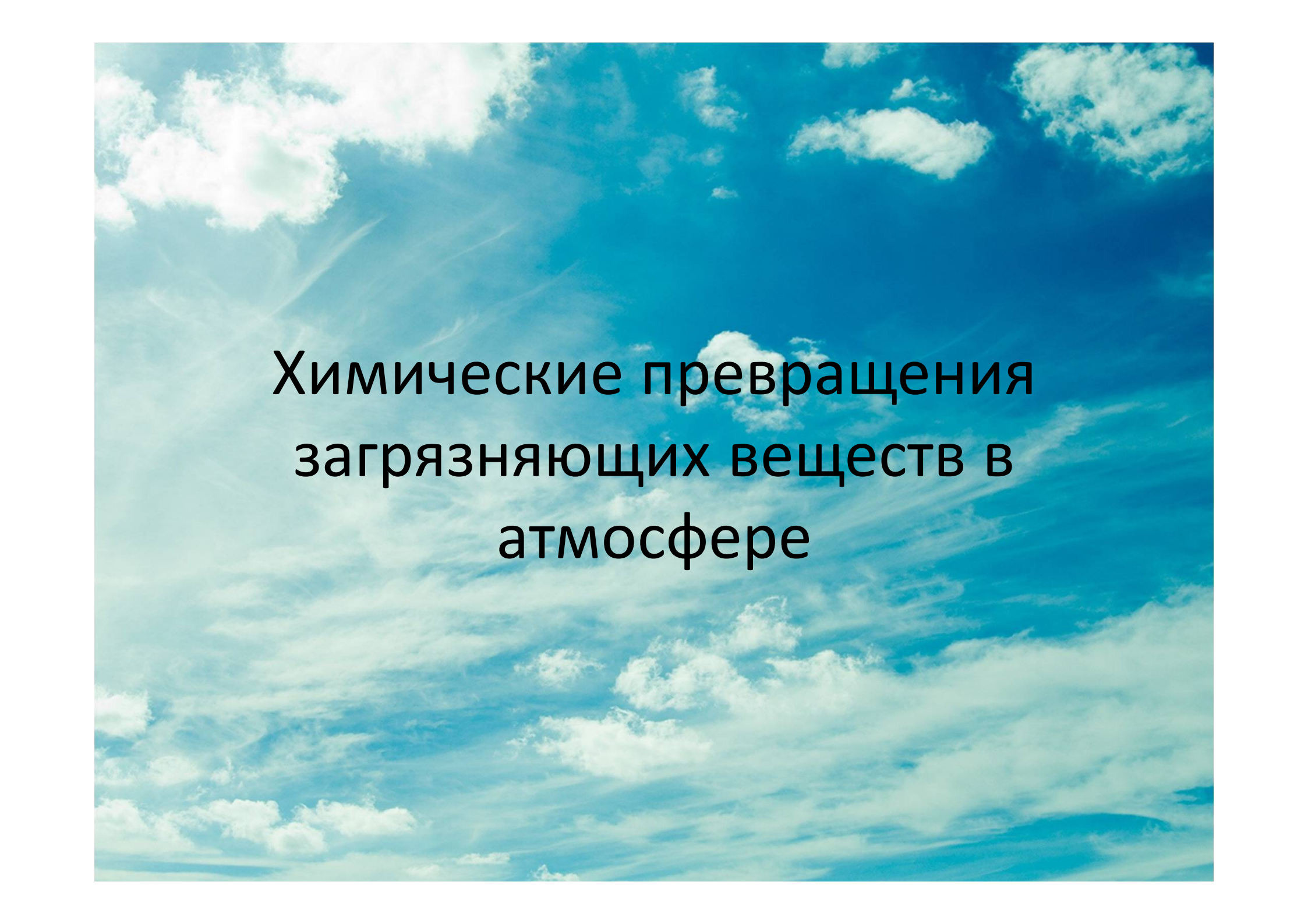


Многие исследователи считают, что на процесс разрушения озона оказывают влияние полярные стратосферные облака. Эти высотные облака, которые гораздо чаще наблюдаются над Антарктикой, чем над Арктикой, образуются зимой, когда при отсутствии солнечного света и в условиях метеорологической изоляции Антарктиды температура в стратосфере падает ниже -80° . Можно предположить, что соединения азота конденсируются, замерзают и остаются связанными с облачными частицами и поэтому лишаются возможности вступить в реакцию с хлором. Возможно также, что облачные частицы способны катализировать распад озона и резервуаров хлора.





Все это говорит о том, что ХФУ способны вызвать заметное понижение концентрации озона только в специфических атмосферных условиях Антарктиды, а для заметного эффекта в средних широтах, концентрация активного хлора должна быть намного выше. Во-вторых, при разрушении озонового слоя жесткий ультрафиолет начнет проникать глубже в атмосферу. Но это означает, что образование озона будет происходить по-прежнему, но только немного ниже, в области с большим содержанием кислорода. Правда, в этом случае озоновый слой будет в большей степени подвержен действию атмосферной циркуляции.

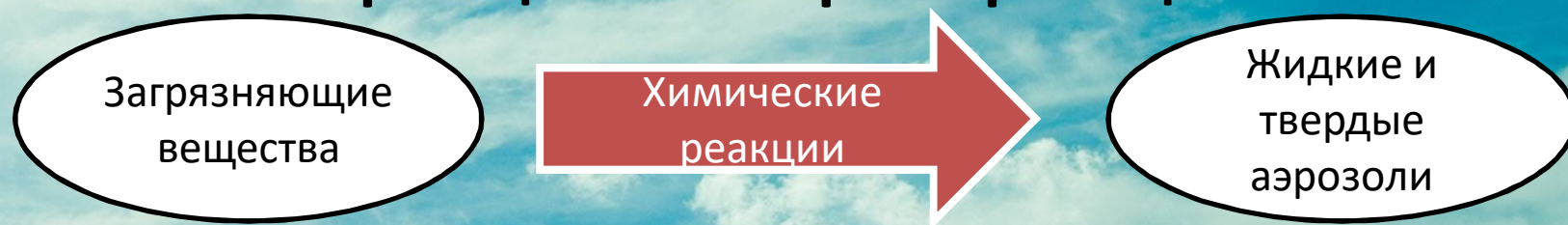


Химические превращения загрязняющих веществ в атмосфере

Метеорологические факторы, влияющие на распространение загрязняющих веществ

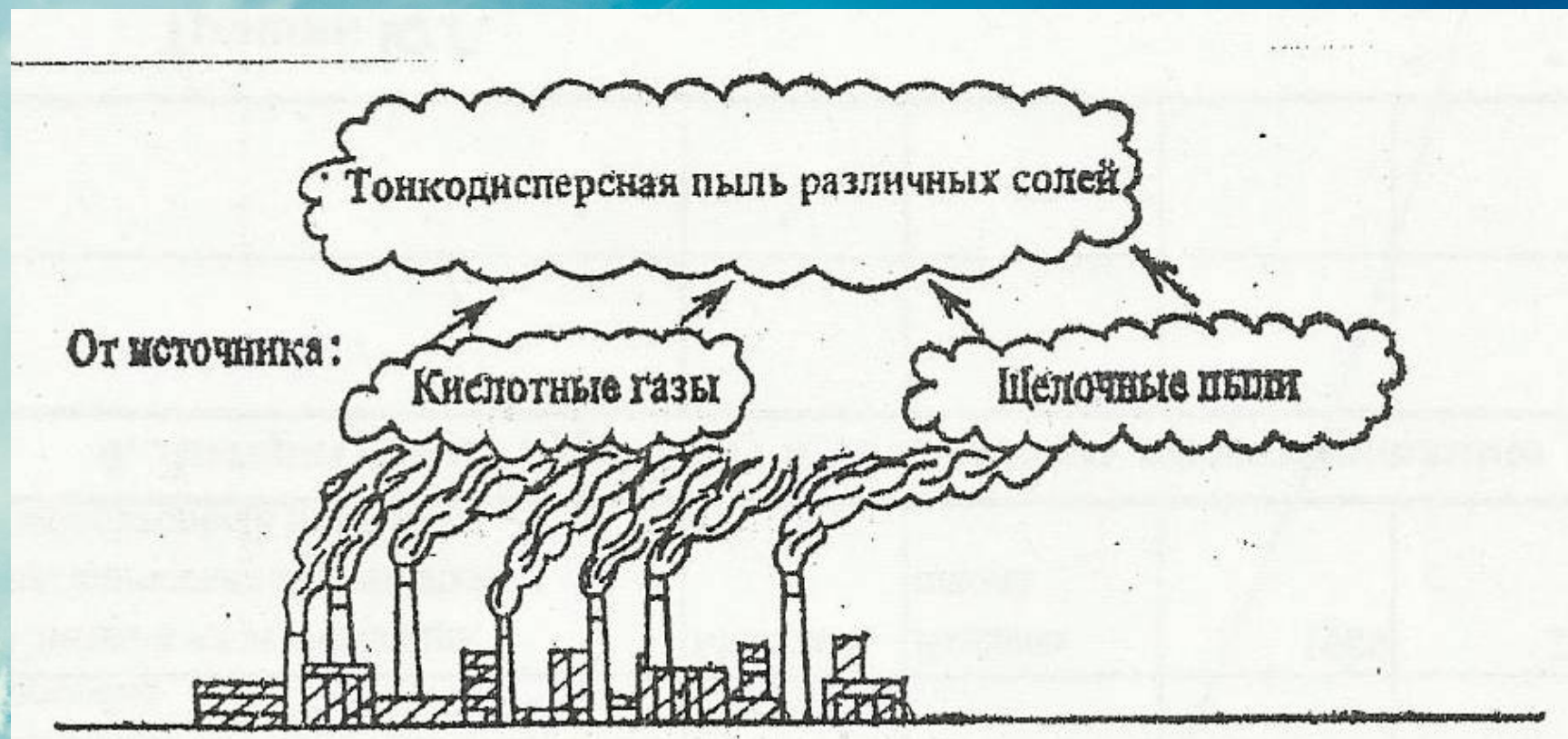
- Давление
- Температура
- Скорость ветра
- Направление ветра

Схема процесса превращения ЗВ

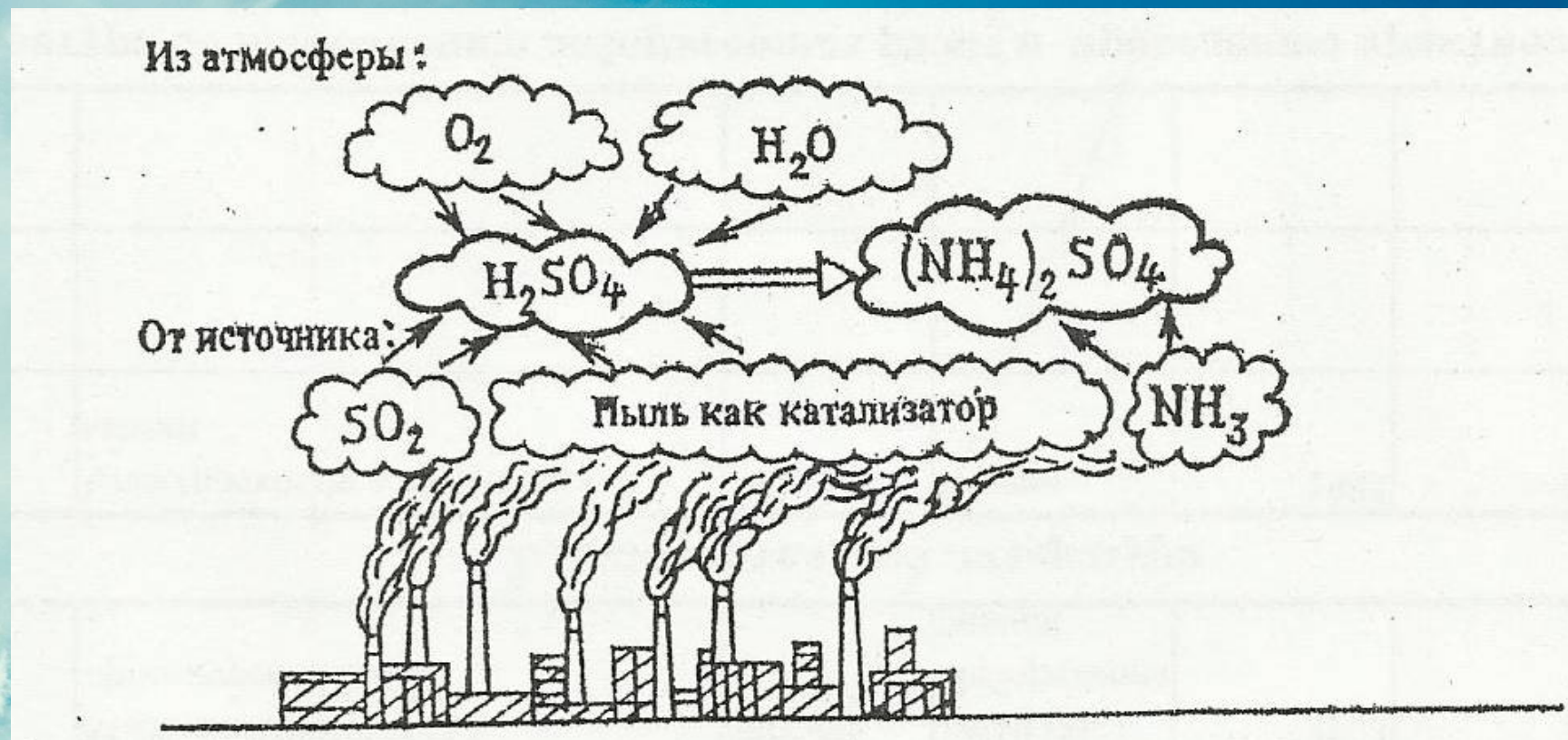


Ускоритель окислительных химических
реакций – **солнечное излучение.**

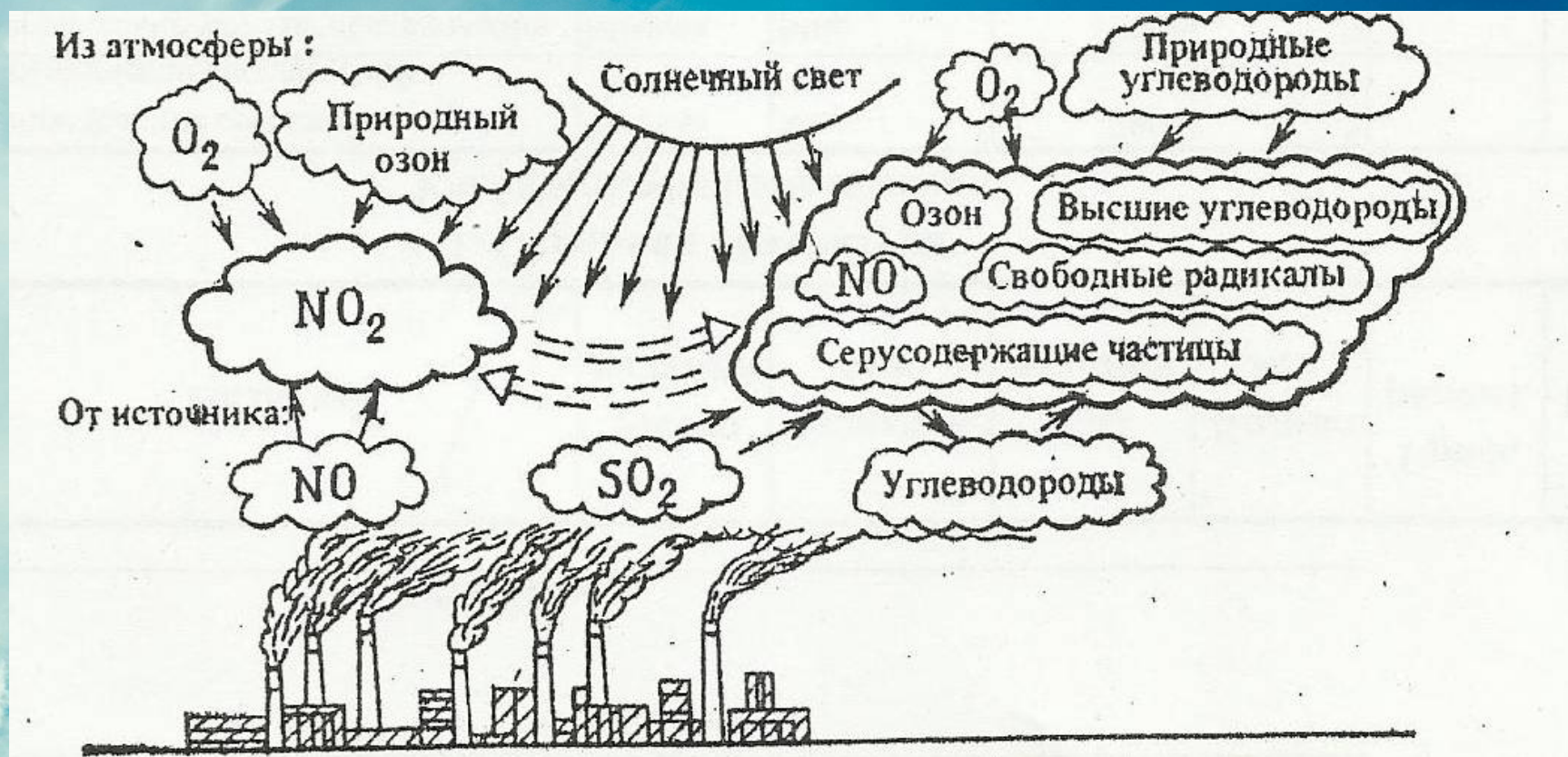
Превращение газов в твердые вещества



Окисление



Цепные фотохимические реакции (образование смога)



Свободные радикалы в атмосфере

Газовые смеси, попадающие в атмосферу

- Вещества в восстановленной форме
- Оксиды с низкой степенью окисления
(сероводород, аммиак, метан, хлорид водорода, оксиды азота и др.)

Поверхность планеты загрязнена:

- Соединениями с высокой степенью окисления
(серная кислота, сульфаты, нитраты и др.)

Вывод:

Атмосфера – глобальный окислительный резервуар

Виды процессов окисления в атмосфере

- Непосредственно в газовой фазе
- В жидкой фазе с предварительной адсорбцией загрязняющих веществ каплями влаги
- В твердой фазе с предварительной адсорбцией загрязняющих веществ на поверхности твердого аэрозоля

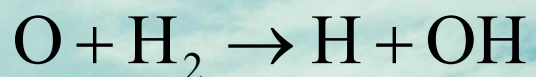
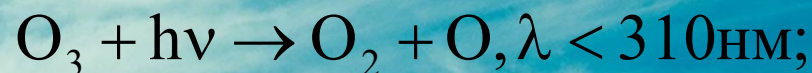
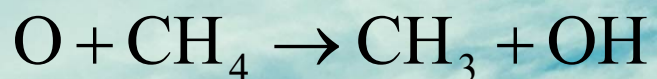
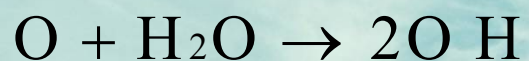
Гидроксильный радикал (ОН)

Молекулярный кислород редко является непосредственно инициатором окисления ЗВ в газовой фазе.

Основная роль в процессах окисления в газовой среде – свободные радикалы – атомы со свободной валентностью (гидроксильный и др.)

Получение гидроксильного радикала ОН

- В верхних слоях стратосферы – прямая фотодиссоциация воды с образованием радикала ОН и атмосферного водорода.
- Превращения с участием молекул воды, метана и водорода



- В тропосфере

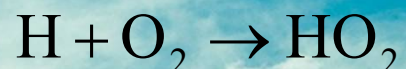


Гидроксильный и гидропероксидный радикалы

- Гидроксил-радикал принимает участие в химических превращениях, протекающих в тропосфере:



Образующийся водород реагирует с кислородом с образованием гидропероксидного радикала:



- Гидропероксидный радикал может быть получен при взаимодействии озона или пероксида водорода с гидроксильным радикалом с образованием молекулярного кислорода и воды.
- Гидроксильный радикал получается при взаимодействии гидропероксидного радикала с монооксидом азота или озоном с образованием диоксида азота и кислорода.

Распределение концентрации радикалов по высоте в атмосфере:

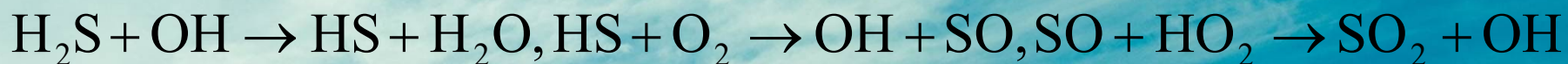
Радикал	Концентрация, см ⁻³ на расстоянии			Время жизни, с
	5 км	20 км	35 км	
ОН	$8,5 \cdot 10^5$	10^6	$3 \cdot 10^7$	1
НО ₂	10^8	10^7	10^8	240

Соединения серы

В атмосфере происходят процессы окисления соединений серы при участии свободных радикалов.

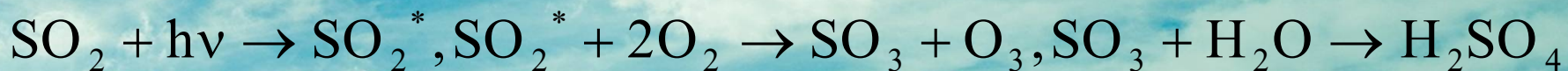
1. Сероводород

Окисляется до диоксида серы:

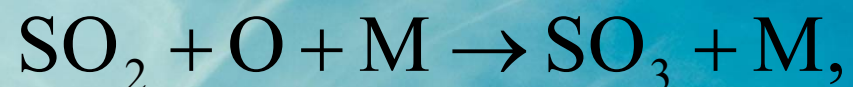


2. Диоксид серы

- Окисление в возбужденном состоянии при взаимодействии с молекулярным кислородом:



- Окисление с участием атомарного кислорода (в присутствии оксидов азота или углеводородов):



где М – третье тело, которому передается энергия.

Замечание: этот процесс возможен на высоте более 10 км при концентрации диоксида серы около $1 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$.

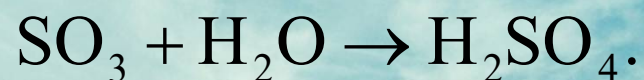
Вывод: окисление диоксида серы не играет существенной роли для процессов трансформации соединений серы в тропосфере.

- Окисление в присутствии свободных радикалов:



4. Триоксид серы

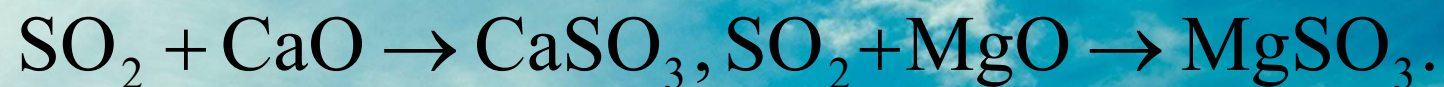
Взаимодействие с атмосферной влагой -
получение раствора серной кислоты:



5. Сульфаты

- Реагируя с аммиаком или ионами металлов серная кислота частично переходит в сульфаты (сульфат аммония, натрия, калия).

- Окисление на поверхности твердых аэрозолей с последующим взаимодействием с молекулярным кислородом:



Замечание: оксиды железа, алюминия, хрома и других металлов – катализаторы реакции окисления диоксида серы.

Стадия гидролиза и растворения диоксида серы.

При высокой влажности атмосферного воздуха предшествует окислению основного количества диоксида серы.

Устанавливается динамическое равновесие между растворенным в воде диоксидом серы и ионами бисульфита и сульфита.

Их соотношение определяется величиной активности ионов водорода.

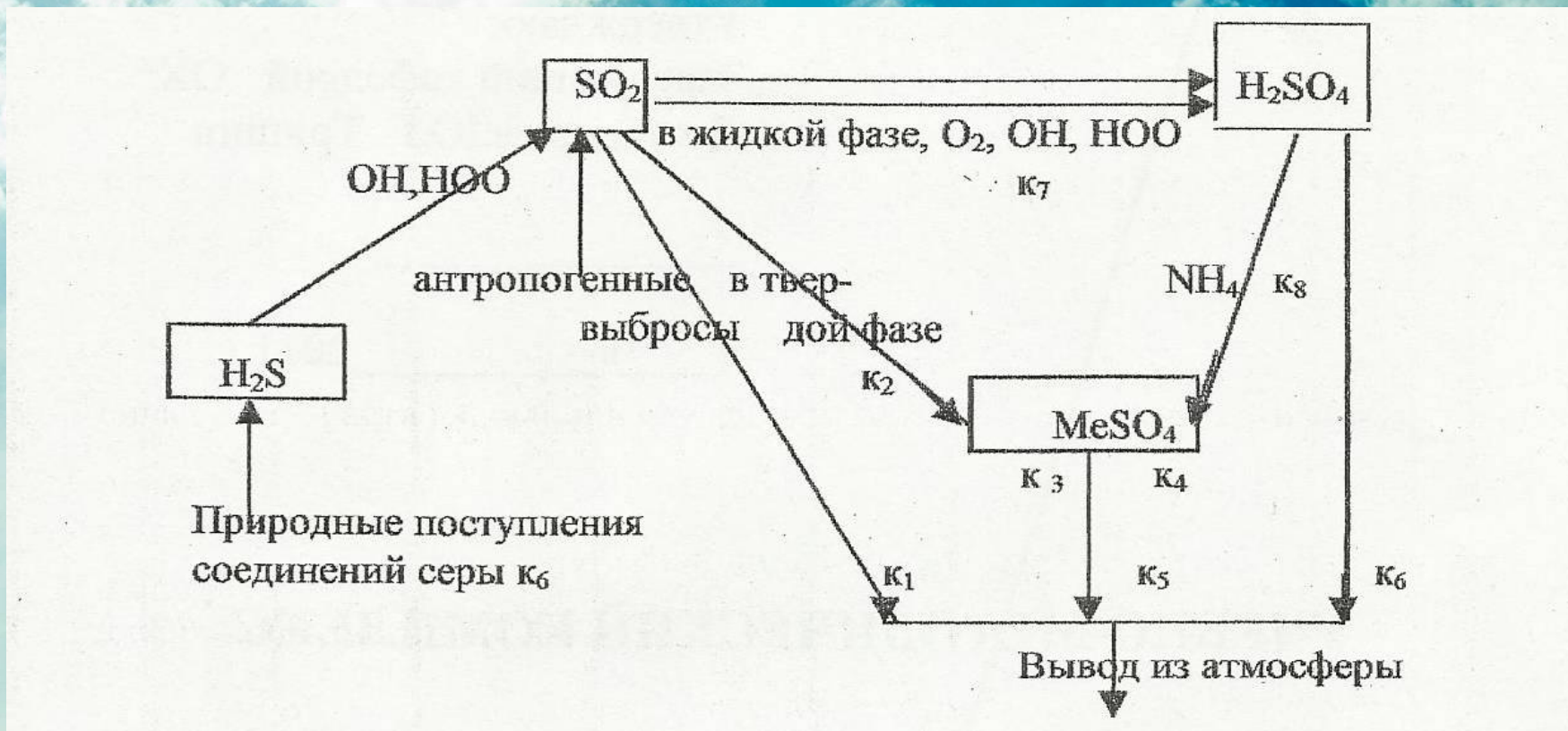
рН р-ра	Доля вещества в растворе (приблизительно)		
	SO_2	HSO_3	SO_3
менее 3,5	1	0	0
до 7 и выше	0	Окисляются в присутствии растворенного кислорода или озона	



Диоксид серы окисляется при участии свободных радикалов (ОН, НОО).

Продукт окисления в растворе – серная кислота в виде жидкого аэрозоля, обладающая малой скоростью оседания.

Серноокислый аэрозоль и диоксид серы вымываются из атмосферы с осадками и адсорбированной водой.



Атмосферный цикл соединений серы

k_1 - k_6 — константы скоростей процессов сухого осаждения и вымывания из атмосферы диоксида серы, сульфатов металлов, серной кислоты; k_7 — константа химического превращения диоксида серы в серную кислоту; k_8 — константа скорости процесса образования сульфатов в атмосфере.

Для среднеевропейских условий константы имеют значения: $k_1 = k_4 = k_6 = k_8 = 0,03 \text{ ч}^{-1}$; $k_2 = 0,025 \text{ ч}^{-1}$; $k_3 = k_5 = 0,01 \text{ ч}^{-1}$; $k_7 = 0,1 \text{ ч}^{-1}$.

Химические превращения соединений азота

Соединения азота в тропосфере

1. Оксиды азота

- Гемиоксид N_2O
- Монооксид
- Диоксид

(другие оксиды в условиях тропосферы неустойчивы)

2. Аммиак и соли аммония

3. Азотной кислотой и нитратами.

Гемиоксид азота

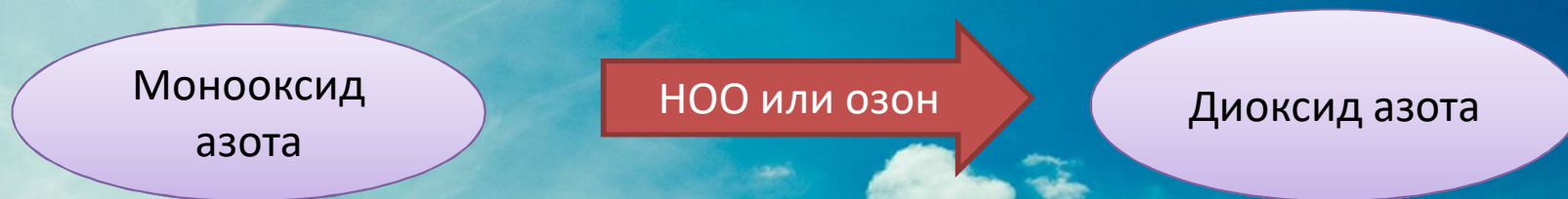
Процессы вывода из атмосферы:

- Фотодиссоциация: $\text{N}_2\text{O} + h\nu \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}$
- Взаимодействием: $\text{N}_2\text{O} + \text{O} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}$, $\text{N}_2\text{O} + \text{O} \rightarrow 2\text{NO}$

Слой атмосферы	Концентрация O	Солнечное излучение	Молекула N ₂ O
Тропосфера	Низкая	Практически отсутствует	Устойчивая
Стратосфера	Увеличивается	Возрастает	Неустойчивая

Вывод: концентрация N₂O на высоте 35 км примерно в 10 раз меньше, чем в тропосфере.

Монооксид и диоксид азота



Обратно:



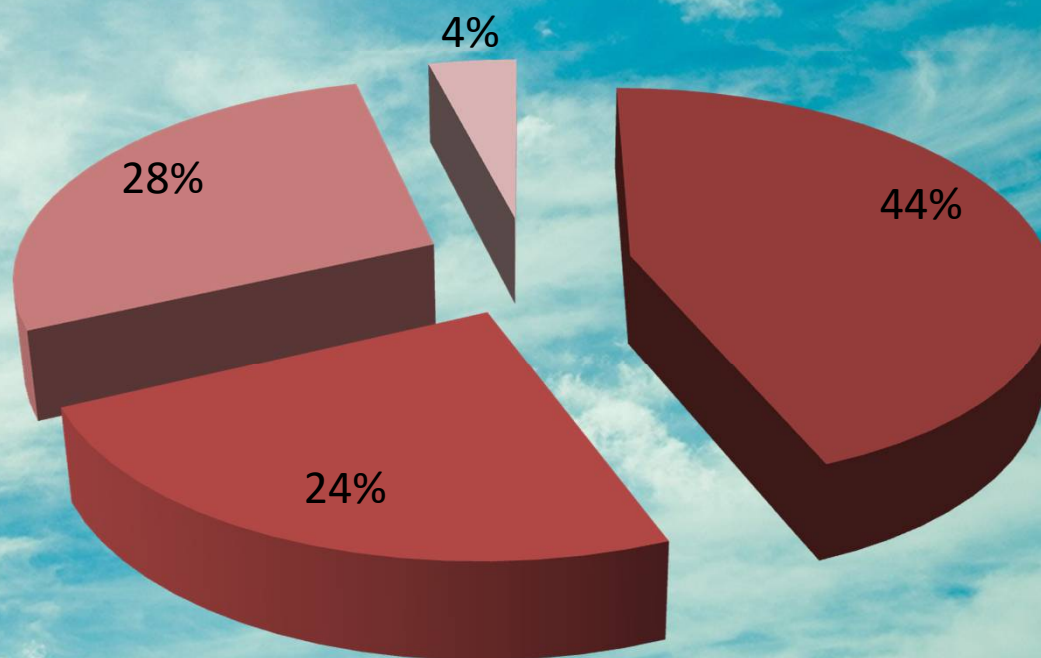
Замечание1: этот процесс многократно повторяется, пока диоксид азота не превратится в азотную кислоту или нитросоединение.

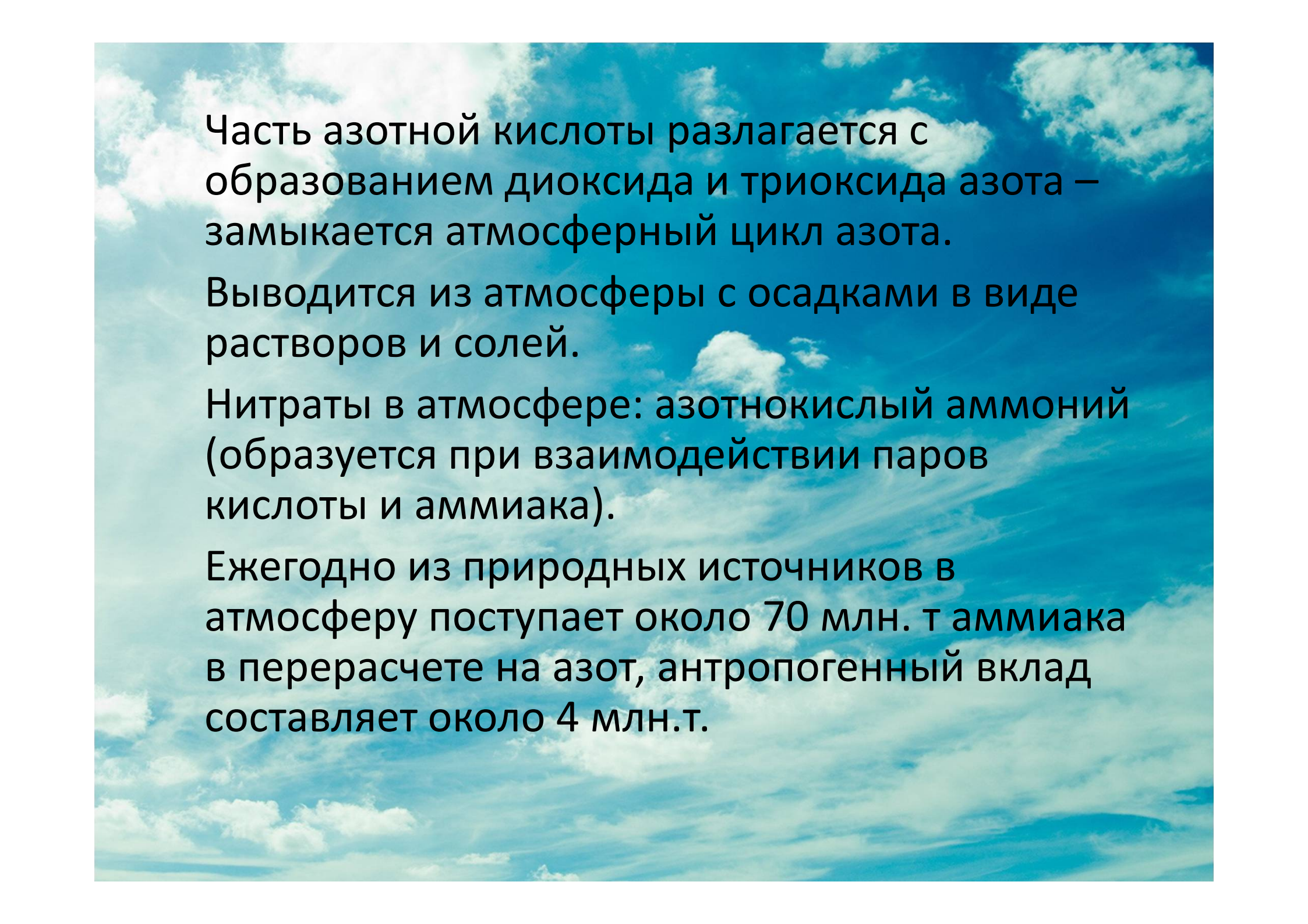
Замечание2: малые концентрации диоксида азота в атмосфере могут явиться причиной образования значительных количеств атомарного кислорода и озона.

Азотная кислота

Образование азотной кислоты в атмосфере

- Диоксид азота и гидроксильный радикал
- Пентаоксид диазота и молекулы воды
- Триоксид азота и органические кислородосодержащие радикалы
- Другое



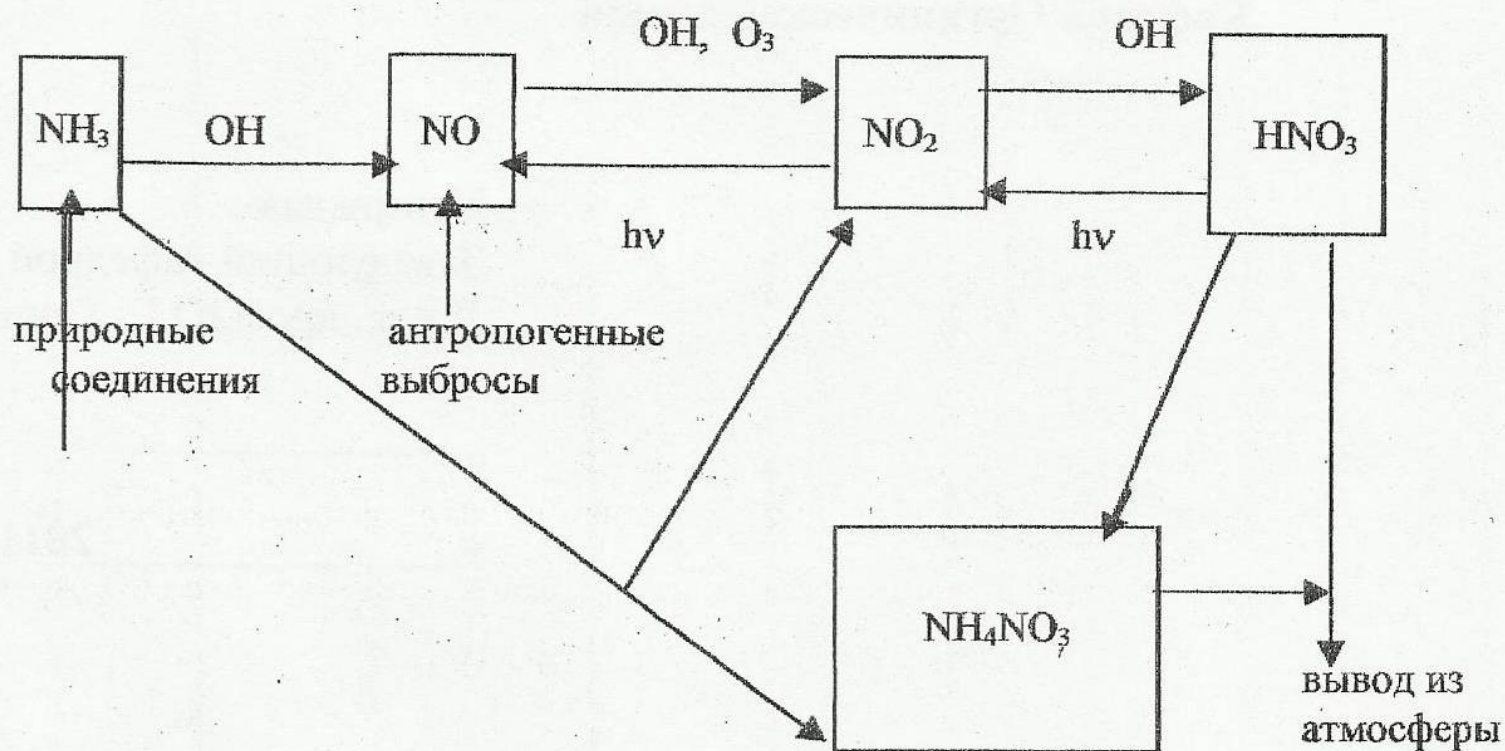


Часть азотной кислоты разлагается с образованием диоксида и триоксида азота – замыкается атмосферный цикл азота.

Выводится из атмосферы с осадками в виде растворов и солей.

Нитраты в атмосфере: азотнокислый аммоний (образуется при взаимодействии паров кислоты и аммиака).

Ежегодно из природных источников в атмосферу поступает около 70 млн. т аммиака в перерасчете на азот, антропогенный вклад составляет около 4 млн.т.



Атмосферный цикл соединений азота

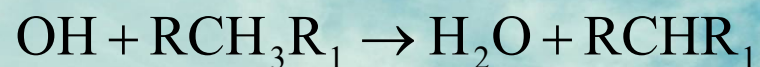
Химические превращения органических соединений

1. Алканы.

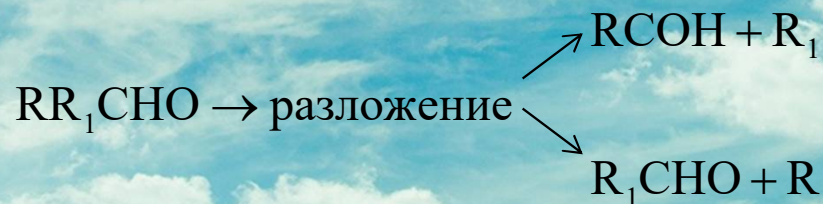
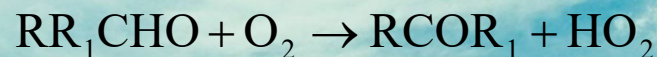
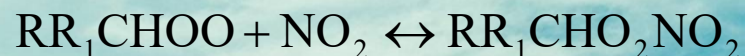
Большая часть углеводородов в атмосфере.

Основной – метан ($1,4 \text{млн}^{-1}$)

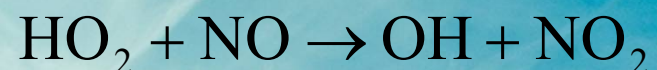
В обычных атмосферных условиях:



Для простых алканов ($\leq \text{C}_3$):



Регенерация радикала ОН:



Замечание: приведенная схема реакций справедлива для низших алканов; в ином случае реакции протекают с участием радикалов RO_2 и RO .

Изомеризация

Происходит при повышении числа углеродных атомов.

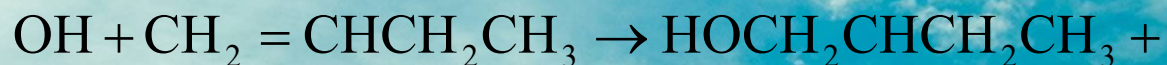
н-бутан – 15%, н-пентан – 7% от общего числа алкоксидных радикалов.

Носит последовательный характер в присутствии кислорода и диоксида азота.

Алкены

Взаимодействуют с озоном и радикалами ОН.

Если алкены содержат боковые цепи более, чем с двумя атомами углерода, радикал ОН отрывает атом Н от ослабленных аллильных связей С-Н:

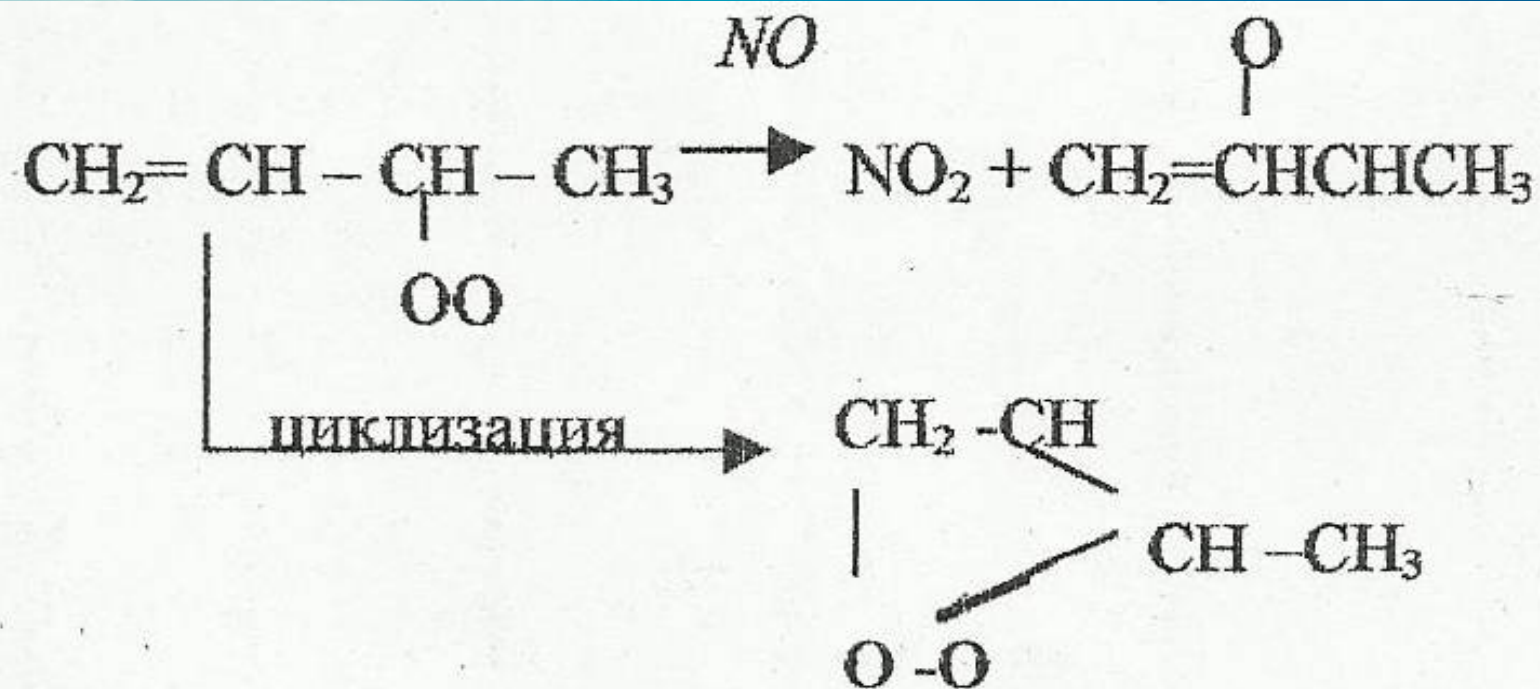


Радикал $\text{CH}_2 = \text{CHCHCH}_3$ способен присоединять кислород с образованием пероксидного радикала:

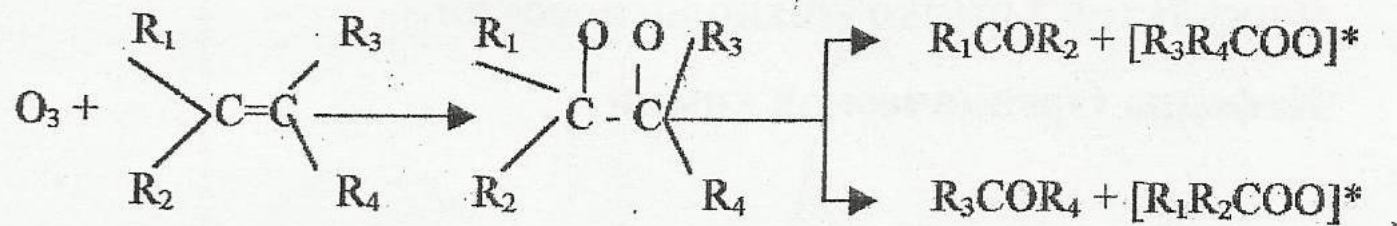


Взаимодействовать с NO с образованием алкоксидного радикала.

Циклизация



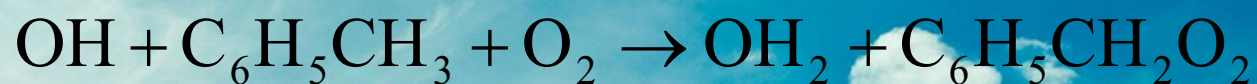
Взаимодействие с озоном



Знак []* обозначает возбужденные частицы с высокой энергией.

Ароматические углеводороды

Взаимодействие с радикалами OH:



Образуется 15% бензальдегида и 85% бициклических радикалов. Они реагируют с кислородом, NO как алкильные радикалы.

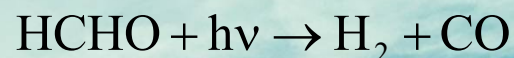
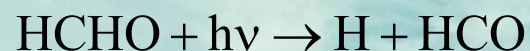
Далее происходит самопроизвольное разложение оксидных радикалов до альдегидов и кетонов.

Кислородосодержащие производные углеводородов

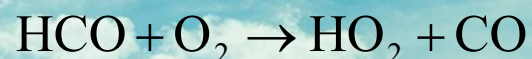
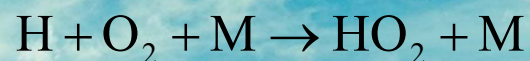
Альдегиды – основные продукты окисления углеводородов. При их взаимодействиях образуются радикалы HO_2 , RO_2 .

Формальдегид

Фотолиз и взаимодействие с радикалами OH :

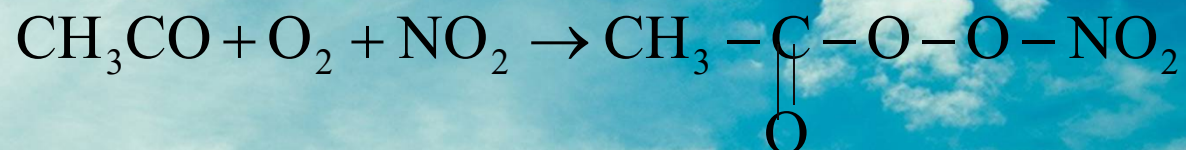


Радикальные продукты первой реакции превращаются далее с образованием радикала HOO :



Ацетальдегид

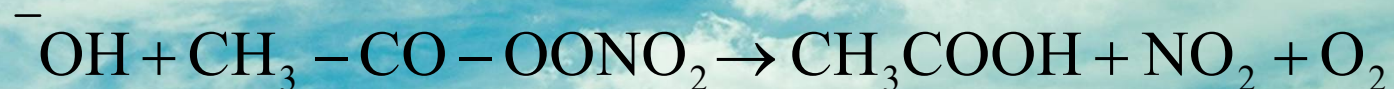
Реагирует с радикалами OH, образуя ацетильный радикал CH₃CO, который взаимодействует далее:



Полученное соединение (пероксиацетилнитрат) вступает в реакцию с NO:

$$\text{CH}_3\text{COOOO} - \text{NO}_2 + \text{NO} \rightarrow 2\text{NO}_2 + \text{CH}_3\text{CO}_2$$

Распадается в конденсированной фазе



Биогенные углеводороды

Реагируют с :

- озоном
- радикалами ОН

Способствуют образованию озона при фотоокислении в присутствии оксидов азота (в условиях смога).

- Обладают высокой реакционной способностью.

Изопрен

- Выделяется лиственными растениями (дуб, платан, эвкалипт).
- Продукты фотоокисления – метилвинилкетон и метакролеин.
- Способствует окислению оксидов азота за счет образования органических и неорганических радикалов.
- Реагирует с радикалами ОН и озоном.

Смог в городской атмосфере

Смог – состояние атмосферы, при котором видимость понижена, а уровень загрязнений высок.

Обладает сильным раздражающим действием на людей (может вызвать у лиц с пониженной сопротивляемостью сильное расстройство здоровья).

Виды смогов:

- Восстановительный (Лондон)
- Фотохимический (Лос-Анджелес)

Восстановительный смог

Атмосферное явление, встречающееся в больших промышленных городах.

Представляет собой смесь дыма, сажи и диоксида азота.

Максимален рано утром при температуре около 0 градусов, высокой влажности и дополняется состоянием инверсии в атмосфере.

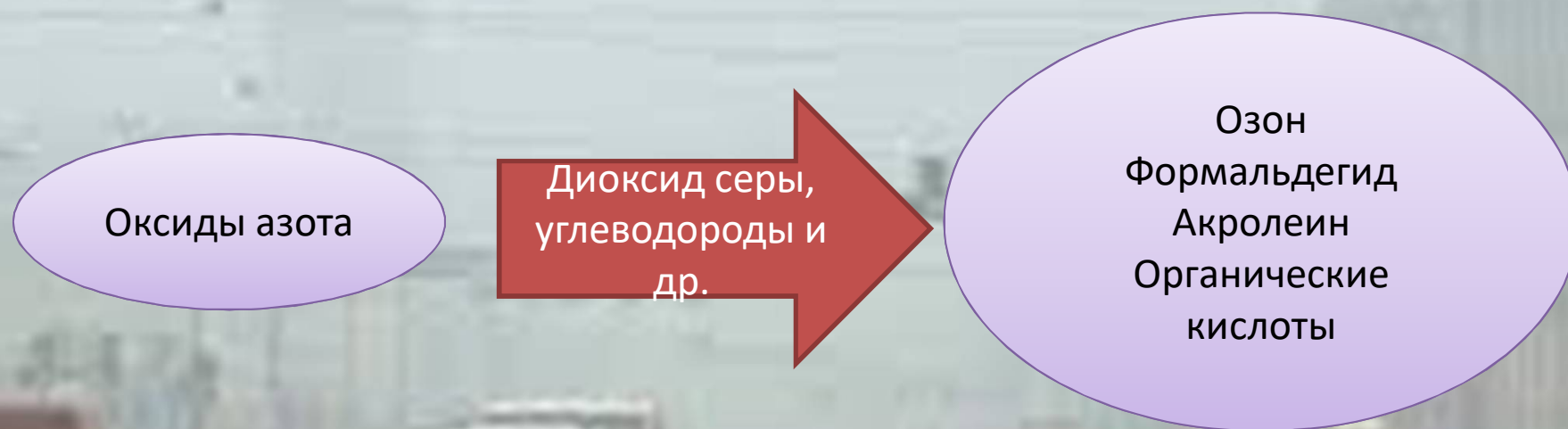
Воздействует отрицательно на бронхи и дыхательные пути людей.



Фотохимический окислительный СМОГ

- Возникает из-за загрязнения воздуха выхлопными газами транспорта и промышленными выбросами, содержащими оксиды азота.
- Максимален около полудня при температуре 24-32 градуса, низкой влажности и дополняется нисходящей инверсией.
- Вызывает раздражение глаз, снижение уровня зрения.
- Способствует окислению резины.
- Имеет неприятный запах.

- Фотохимический смог – наличие в атмосфере оксидов азота.



- Образование аэрозолей с триоксидом серы.
- Снижение видимости по горизонтали (снижение видимости)