

*Белорусский государственный университет
Географический факультет
Кафедра общего землеведения и гидрометеорологии*



Тема 3

Атмосфера как оптическая система



*Старший преподаватель
Давыденко О. В.*



***Цель лекции: охарактеризовать
состав и строение
атмосферы Земли.***

Вопросы лекции

- 3.1. Основные параметры атмосфер планет
Солнечной системы.***
 - 3.2. Состав и структура атмосферы Земли.***
 - 3.3. Пространственная и временная изменчивость
структурных параметров атмосферы.***
 - 3.4. Атмосферный аэрозоль.***
- 

***3.1. Основные параметры
атмосфер планет
Солнечной системы***

Элементный состав (% по массе) Солнечной системы и Земли

Солнечная система		Земля	
Элемент	%	Элемент	%
Водород	77	Железо	34.6
Гелий	21	Кислород	29,5
Кислород	0,83	Кремний	15,2
Углерод	0,34	Магний	12,7
Неон	0,17	Никель	2,4
Азот	0,12	Сера	1,9
Железо	0,11	Кальций	1,1
Кремний	0,07	Алюминий	1,1
Магний	0,06	Натрий	0,57
Общее количество	99,70	Водород+ углерод+ азот	0,05
		Неон	$1-10^{-3}$
		Общее количество	99,12

Планеты и основные спутники Солнечной системы

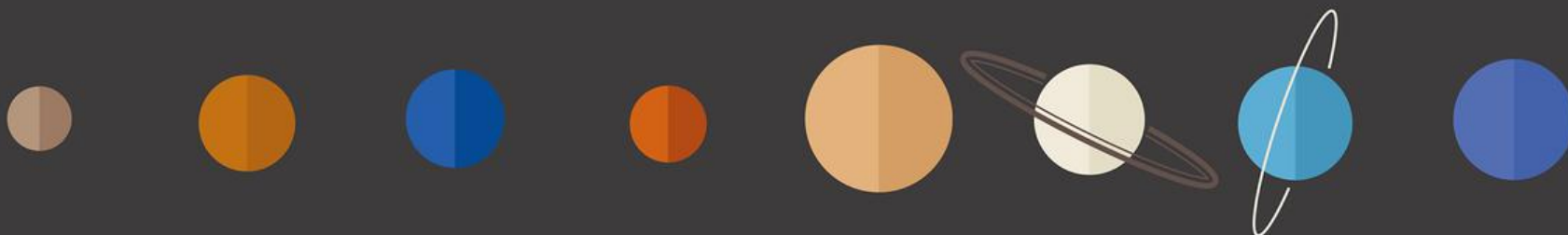
Название	Расстояние от Солнца*	Масса**	Плотность***	Поверхность		
				Температура, °C	Давление, атм	Состав атмосферы
Меркурий	0,39	0,055	5,4	167	0	
Венера	0,72	0,82	5,2	460	90	Диоксид углерода, азот
Земля	1,00	1,00	5,5	15	1	Азот, кислород, пары воды, аргон
Луна		0,012	3,3	0	0	
Марс	1,52	0,11	3,9	-55	0,006	Диоксид углерода, азот, аргон
Фобос		$1,5 \times 10^{-9}$	1,9 (?)		0	
Деймос		$0,3 \times 10^{-9}$	2,1 (?)		0	
Юпитер	5,19	318	1,3			Водород, гелий
Ио		0,015	3,6	-145	0	
Европа		0,008	3,0	-145	0	
Ганимед		0,025	1,9	-145	0	
Каллисто		0,018	1,8	-145	0	
Сатурн	9,53	95	0,7			Водород, гелий
Титан		0,023	1,9	-180	1,6	Азот, метан
Уран	19,2	15	1,2			Водород, метан
Нептун	30,1	17	1,7			Водород, метан
Тритон		0,006 (?)	2 (?)	-215	0,0001	Метан
Плутон	39,5	0,002	1 (?)	-220	0,0001	Метан

* Относительно расстояния от Солнца до Земли.

** Относительно массы Земли.

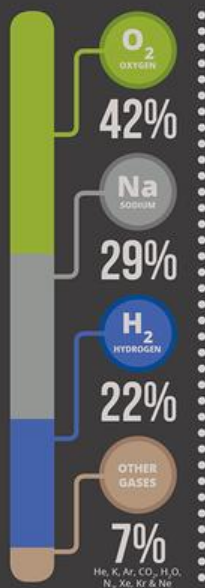
*** Относительно плотности воды.

ATMOSPHERES OF THE SOLAR SYSTEM

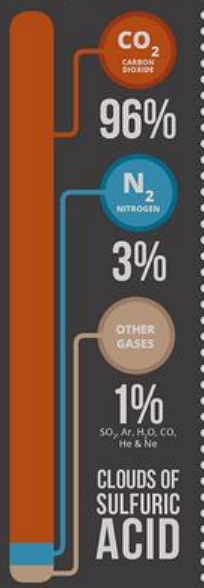


The Terrestrial Planets

MERCURY



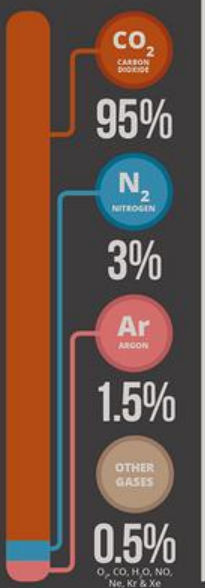
VENUS



EARTH



MARS

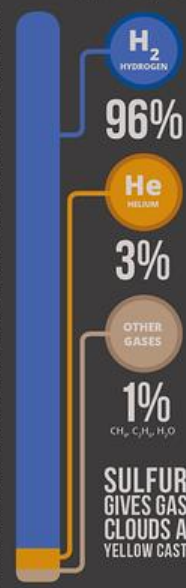


The Gas Giants

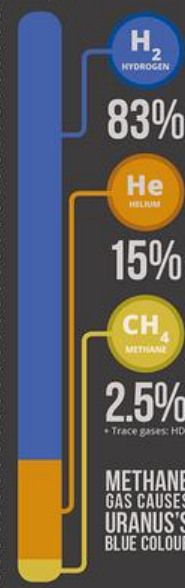
JUPITER



SATURN



URANUS



NEPTUNE



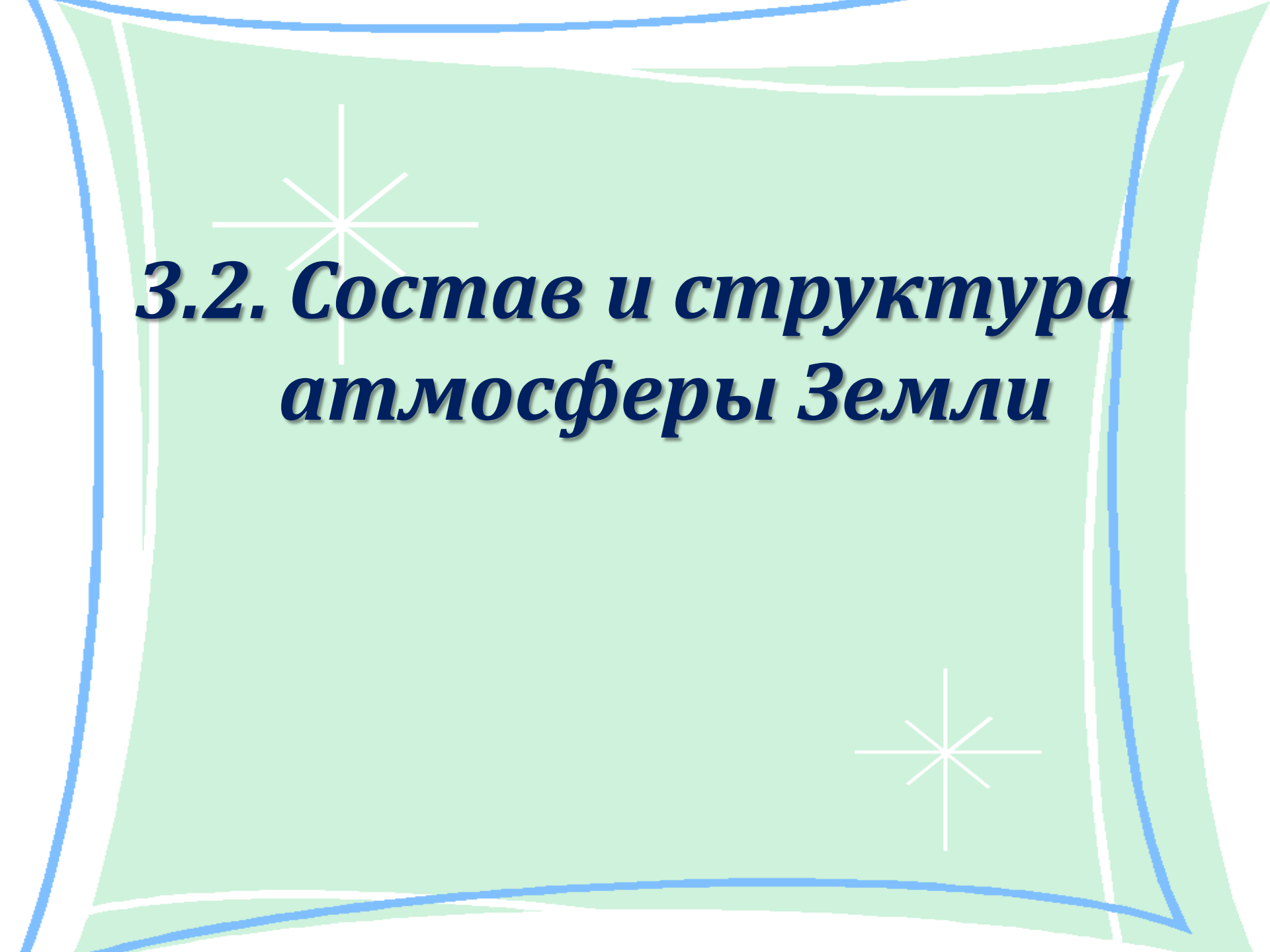
Note: Planet sizes are not to scale. Also, Mercury's atmosphere is not an atmosphere in the strict sense of the word, as it is a trillion times thinner than Earth's.



© COMPOUND INTEREST 2014 - WWW.COMPOUNDCHEM.COM | Twitter: @compoundchem | Facebook: WWW.FACEBOOK.COM/COMPOUNDCHEM
Atmospheric compositions taken from NASA, <http://quest.arc.nasa.gov/projects/astrobiology/astroventure/challenge/Articles/planetatmoscomp.pdf>



https://img-forkj.yandex.ru/get/62627/81634935_123/0_c3a45_d85a4cf_XXXXL



3.2. Состав и структура атмосферы Земли

1. Основные газовые составляющие воздуха (99,96% массы атмосферы)

N_2 – 78,084%, O_2 – 20,946% Ar – 0,934%

2. Малые газовые составляющие (МГС)

O_3 , CO_2 , CH_4 , CO , N_2O

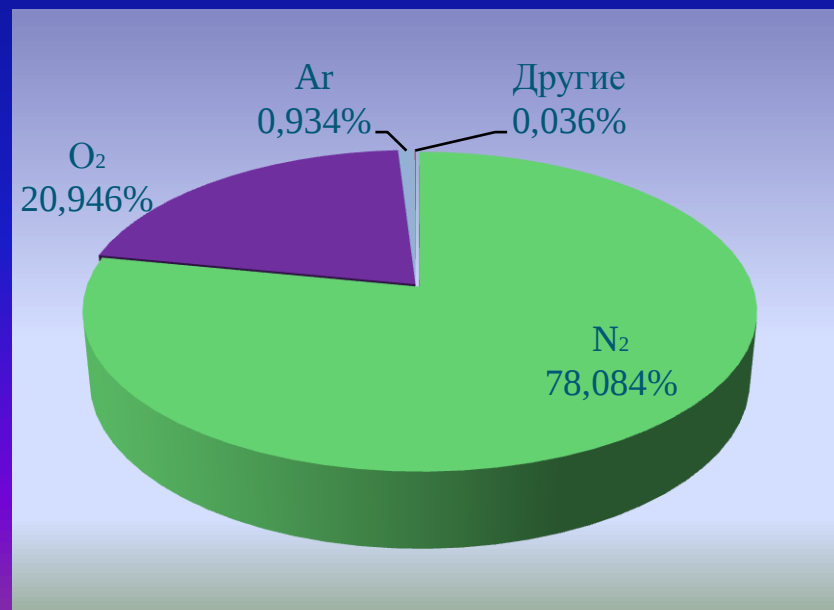
3. Неустойчивые молекулы и атомы

(свободные радикалы)

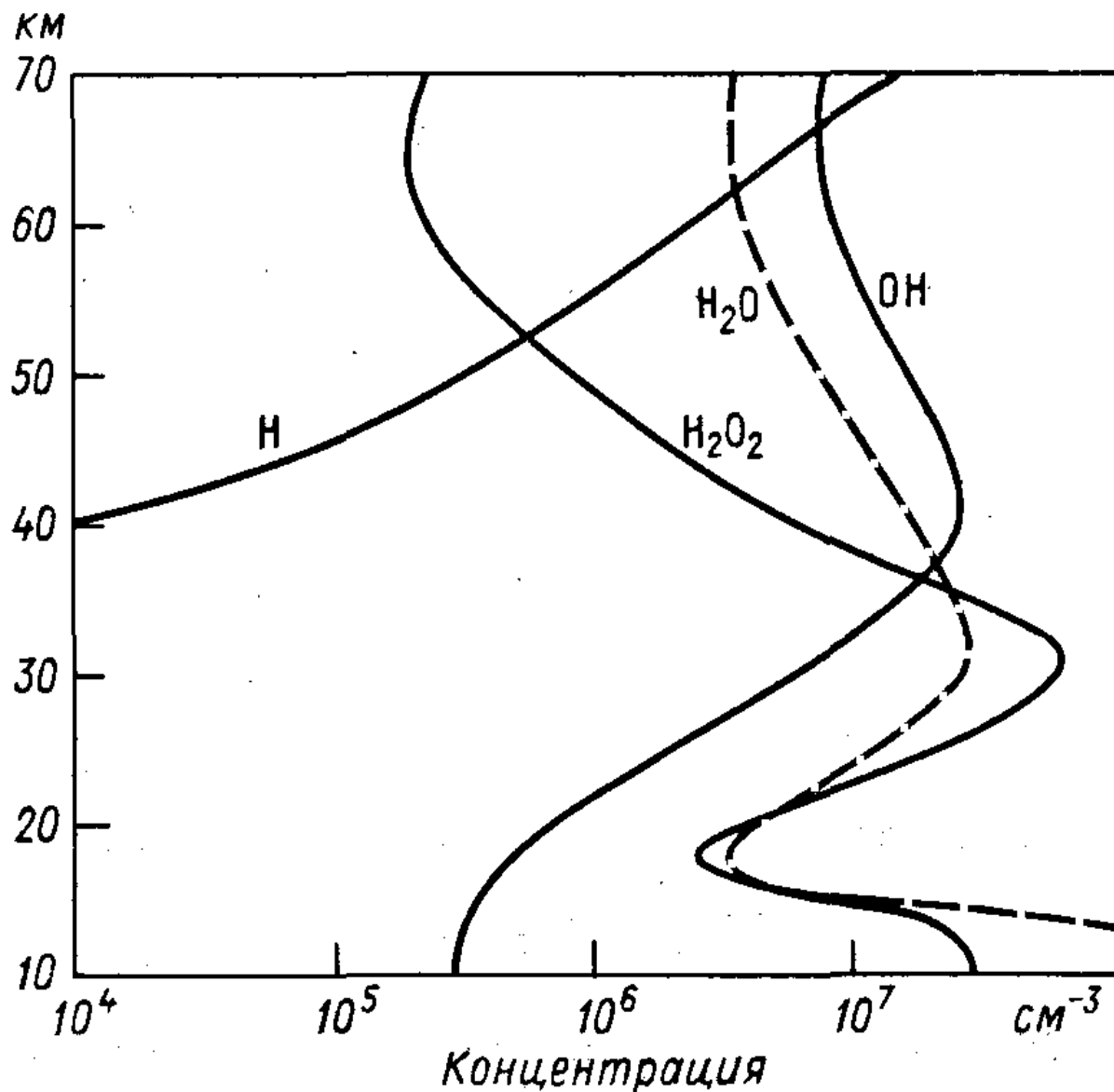
O , OH , HO_2 , ClO

4. Аэрозоли

5. Антропогенные примеси

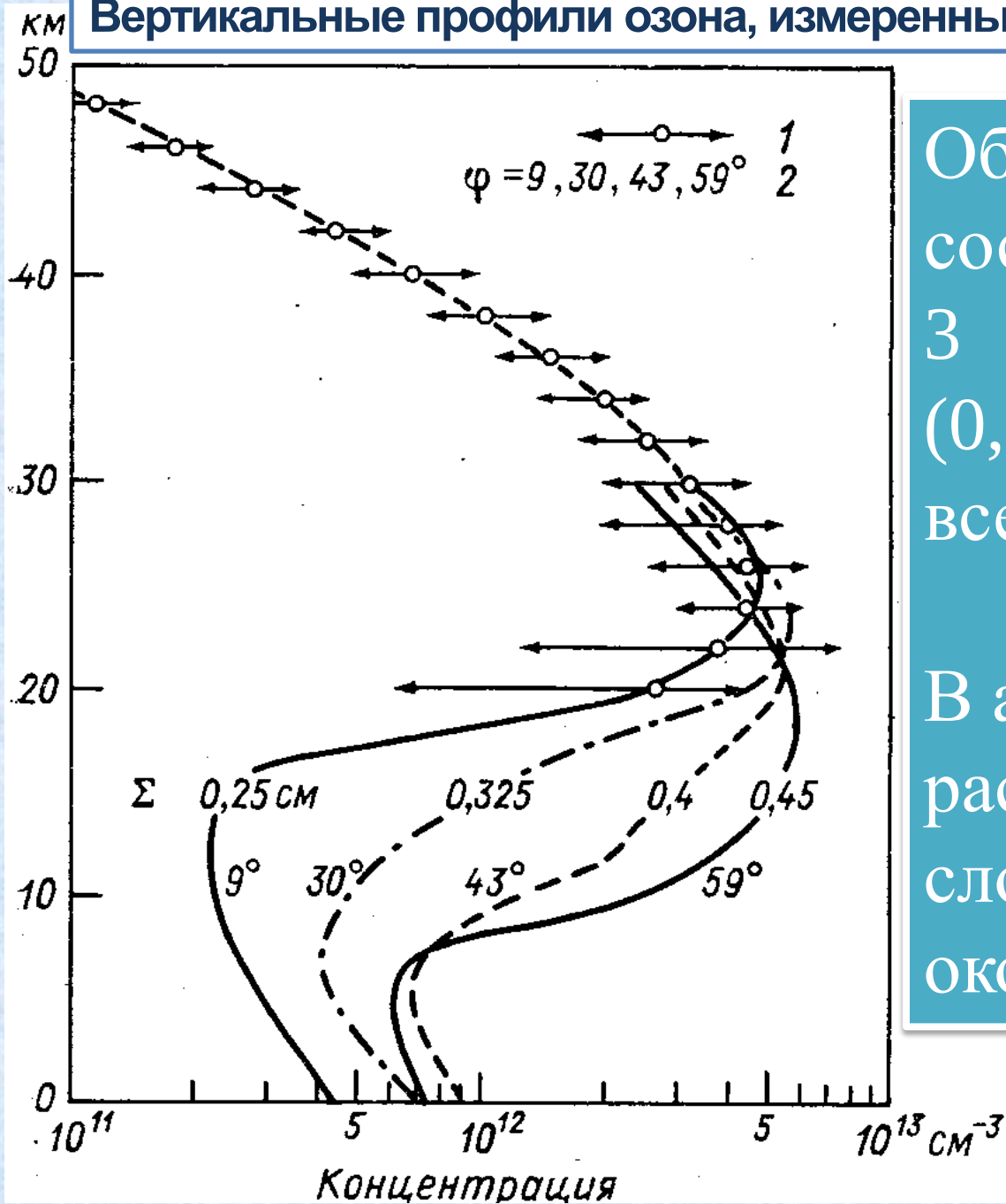


Общая масса **оксида водорода**
(водяного пара) в земной атмосфере 14 трлн. т



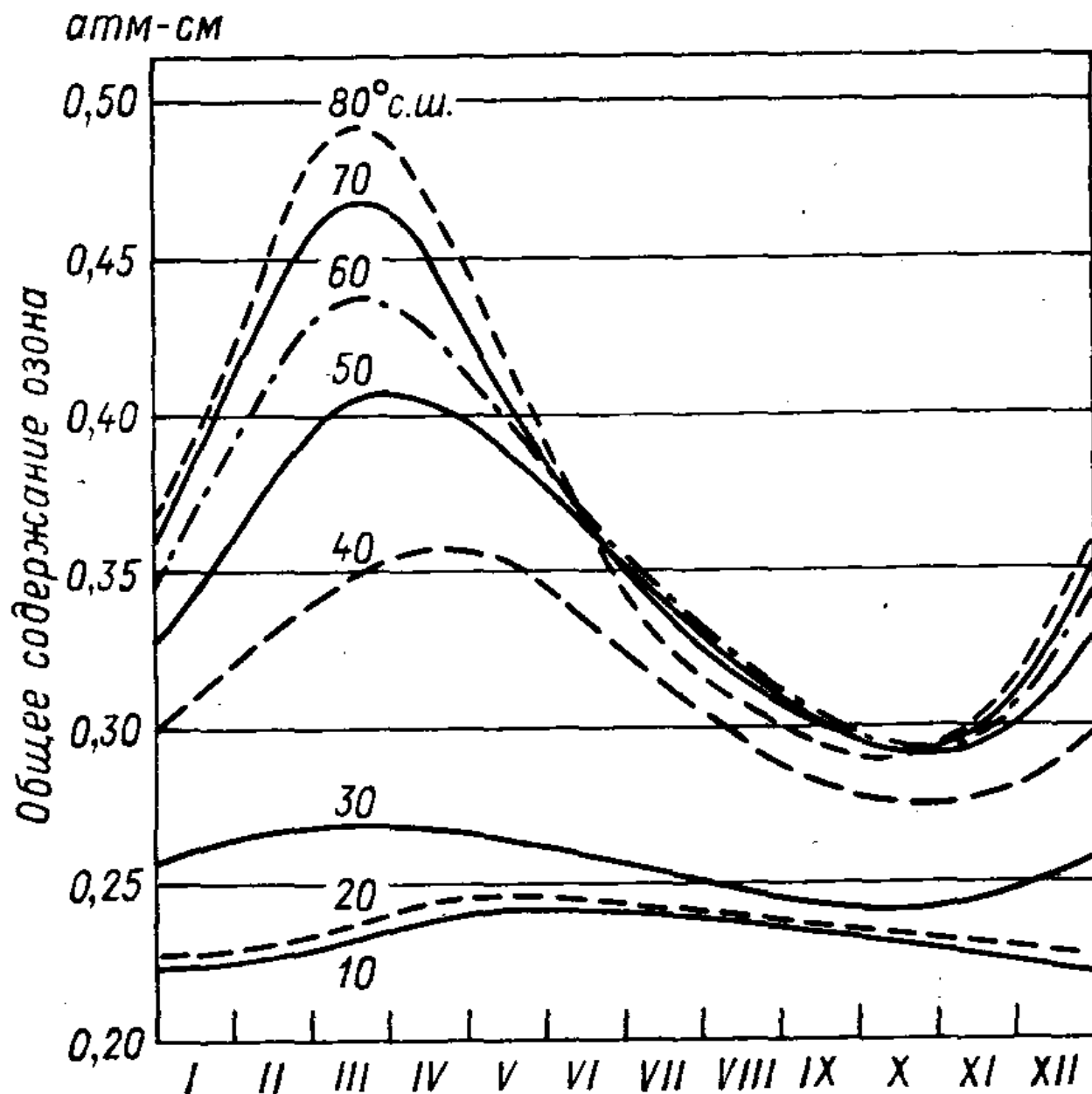
Профиль концентрации водяного пара от земной поверхности до высот примерно 80 км повторяет ход температуры в тропосфере, стратосфере и мезосфере.

Вертикальные профили озона, измеренные на различных широтах



Общая масса озона составляет около $3 \cdot 10^9$ тонн ($0,64 \cdot 10^{-6}$ массы всей атмосферы).

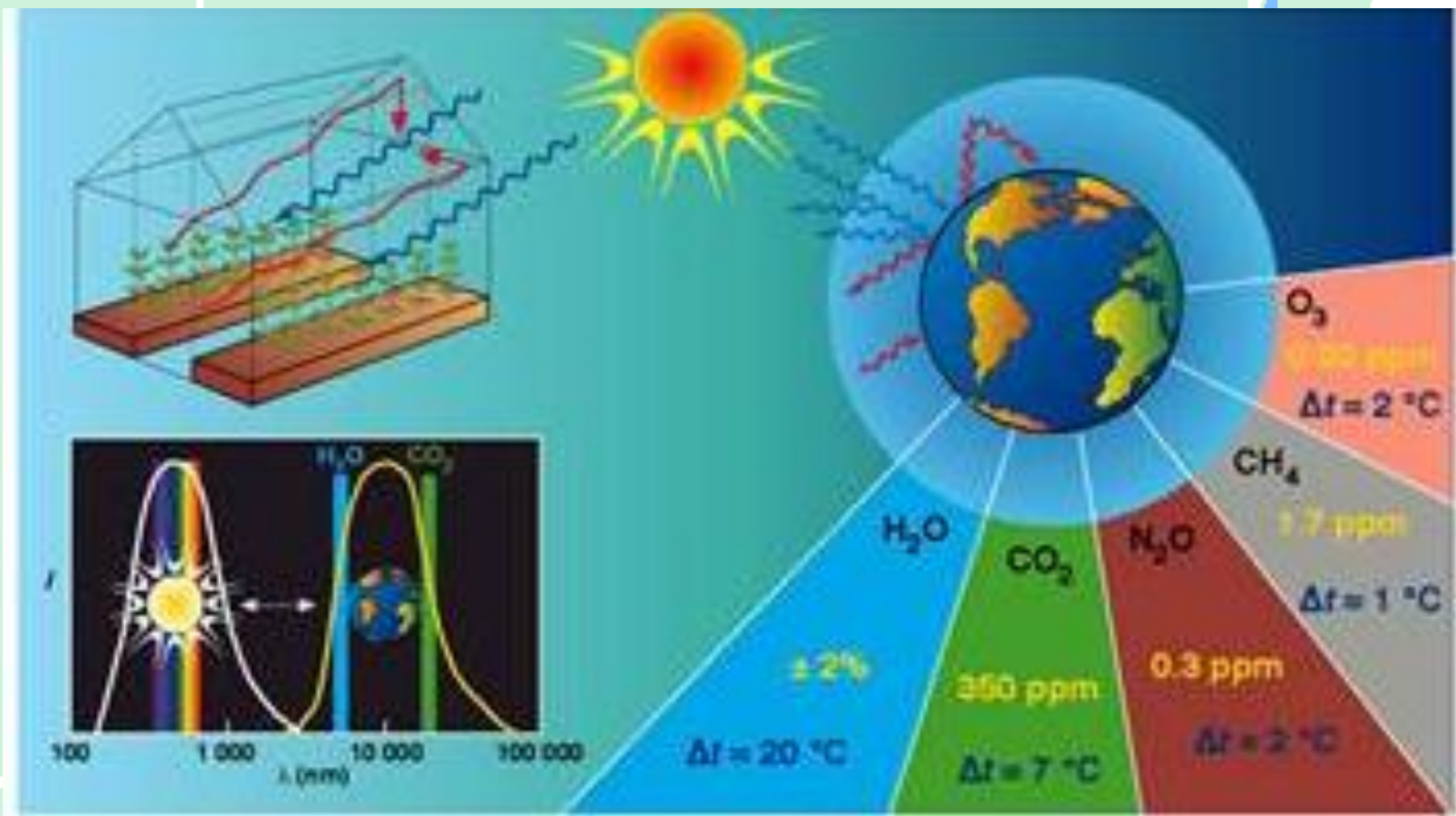
В атмосфере озон располагается слоем, толщиной около **90 км**.



**Годовой ход
общего
содержания
озона на
различных
широтах**

Основные парниковые газы атмосферы Земли

Газ	Формула	Вклад (%)
Водяной пар	H_2O	36 — 72 %
Диоксид углерода	CO_2	9 — 26 %
Метан	CH_4	4 — 9 %
Озон	O_3	3 — 7 %



*Критерии
для выделения слоев
в атмосфере:*

- 1) основные газы или примеси,
- 2) электрические свойства,
- 3) температура,
- 4) ветер (динамика).

**Деление атмосферы
по вертикальному
распределению температуры**

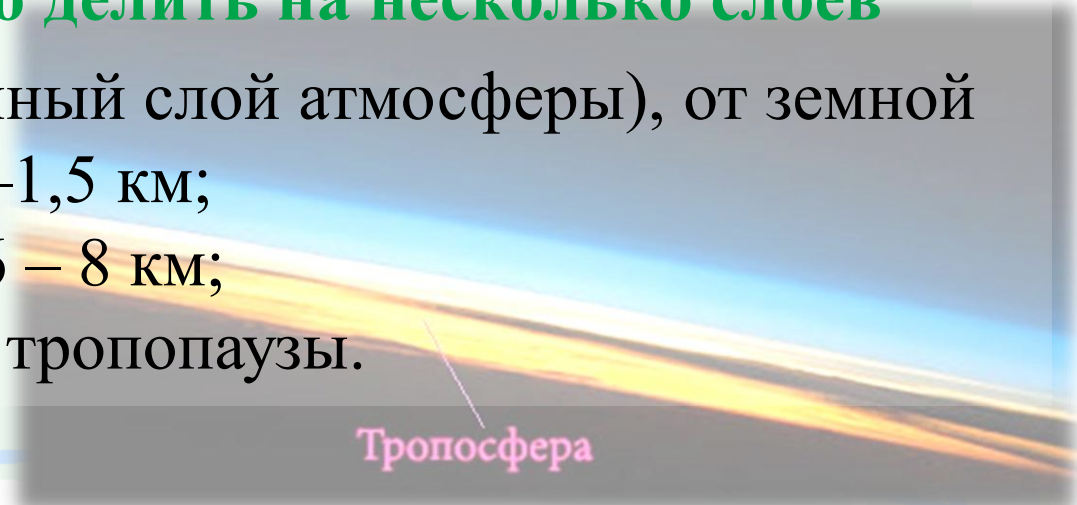
Тропосфера (от греч. трóпоζ – поворот и σφαῖρα – шар).
75% массы воздуха в умеренных широтах и
до 90% – в низких
(в среднем около 80% массы атмосферного воздуха Земли).

В среднем в тропосфере температура падает на $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 м. На верхней границе тропосферы в **умеренных** широтах средняя температура воздуха около **$-55...-60\text{ }^{\circ}\text{C}$** , а в **экваториальной** области около **$-70...-80\text{ }^{\circ}\text{C}$** .

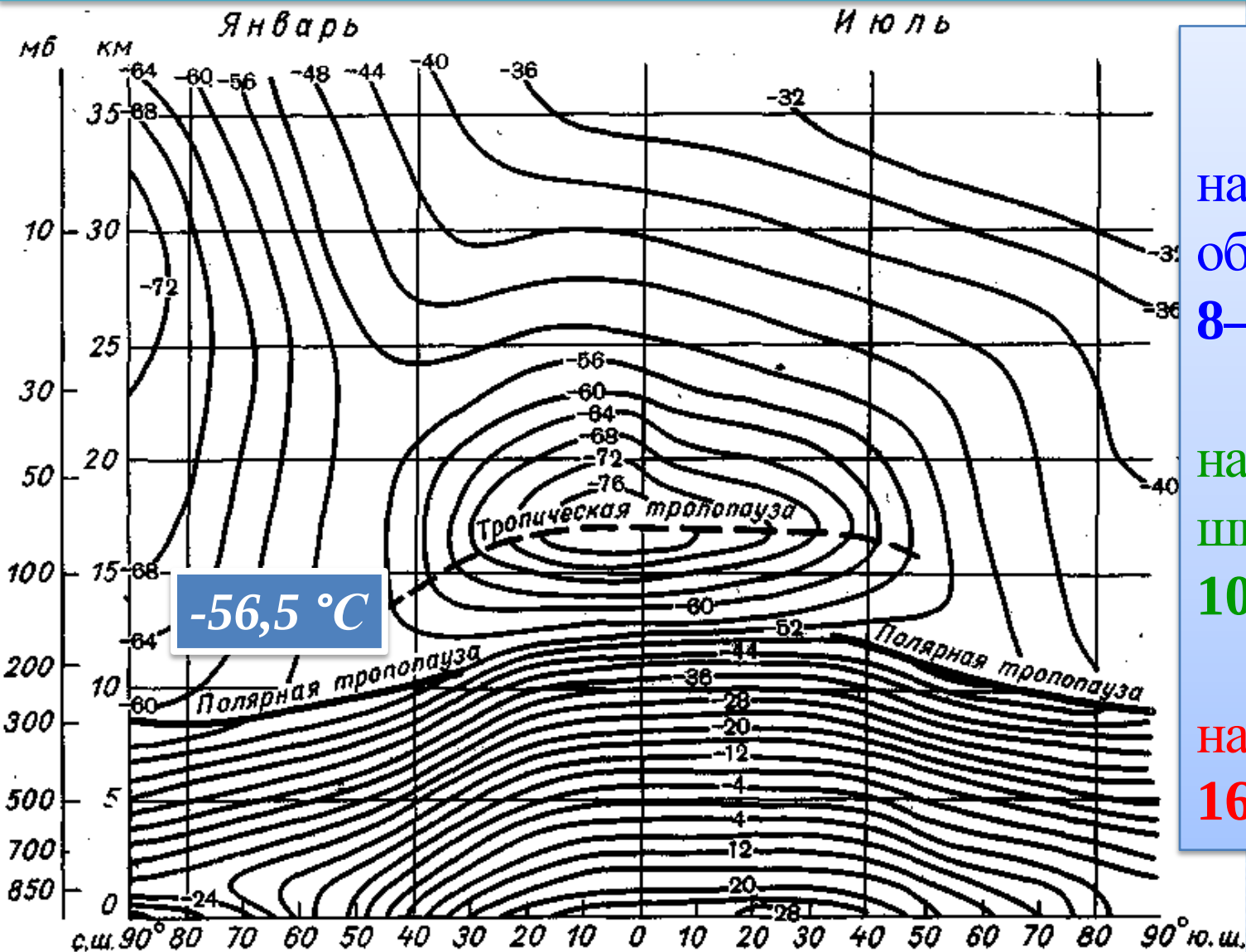
Тропосферу принято делить на несколько слоев

- а) нижнюю* (или пограничный слой атмосферы), от земной поверхности до высоты 1–1,5 км;
- б) среднюю* – от 1–1,5 до 6 – 8 км;
- в) верхнюю* – от 6–8 км до тропопаузы.

Тропосфера

A diagram illustrating the vertical structure of the troposphere. It shows a cross-section of the atmosphere with a color gradient from blue at the top to yellow and orange at the bottom. A line represents the temperature profile, which decreases linearly from the surface to the tropopause. A label 'Тропосфера' points to the entire layer shown.

Между 30 и 45° широты одновременно, на различных уровнях, перекрываясь, может находиться полярная и тропическая тропопауза (зона разрыва тропопаузы).



Высота

над полярными
областями –
8–10 км;

над умеренными
широтами –
10–12 км;

над экватором –
16–18 км

Стратосфера (от лат. stratum – настил и греч. σφατρα – сфера, шар) располагается над тропопаузой и простирается примерно до высоты **51 км**. В стратосфере и мезосфере содержится немногим менее 20% массы воздуха.

В слое от 15 до 50 км содержится главная масса озона с максимальной концентрацией, на высоте около 20 – 25 км.

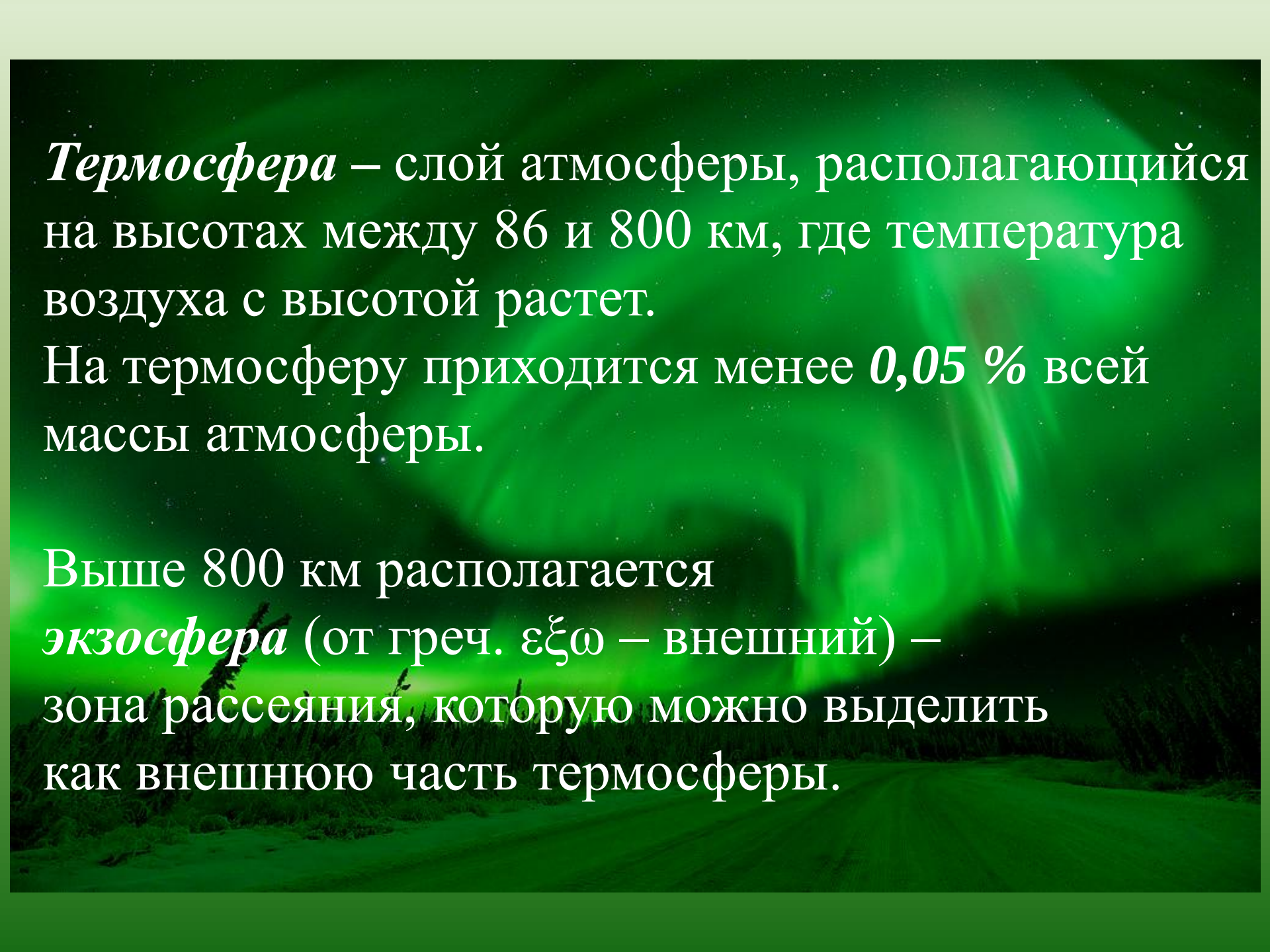
На высоте 20–30 км в стратосфере в зимнее время при низком положении Солнца иногда можно наблюдать перламутровые облака, имеющие яркую радужную окраску.



Мезосфера (от греч. мезοζ – промежуточный и σφαῖρα – сфера, шар) располагается приблизительно между 51 и 86 км. Масса мезосферы не превышает **0,3 %** массы атмосферы. Температура в мезосфере понижается с высотой в среднем на **0,35 °C** на каждые **100 м** высоты. На верхней границе температура может достигать **-80...-90 °C**.

*На верхней границе
(в летнее время,
когда здесь наиболее
низкие температуры),
в области мезопаузы,
образуются
серебристые облака.*





Термосфера – слой атмосферы, располагающийся на высотах между 86 и 800 км, где температура воздуха с высотой растет.

На термосферу приходится менее *0,05* % всей массы атмосферы.

Выше 800 км располагается *экзосфера* (от греч. $\epsilon\chi\omega$ – внешний) – зона рассеяния, которую можно выделить как внешнюю часть термосферы.

Деление атмосферы по составу воздуха

Гомосфера – слой, в котором воздух хорошо перемешан и молекулярного азота содержится примерно в четыре раза больше, чем молекулярного кислорода.

На долю основных газов (N_2 , O_2 , Ar) приходится около 99,96 %, а на долю остальных – всего лишь около 0,04 %.

В гетеросфере состав воздуха с высотой изменяется из-за процессов диссоциации молекул кислорода и азота, а также вследствие диффузионного разделения газов.

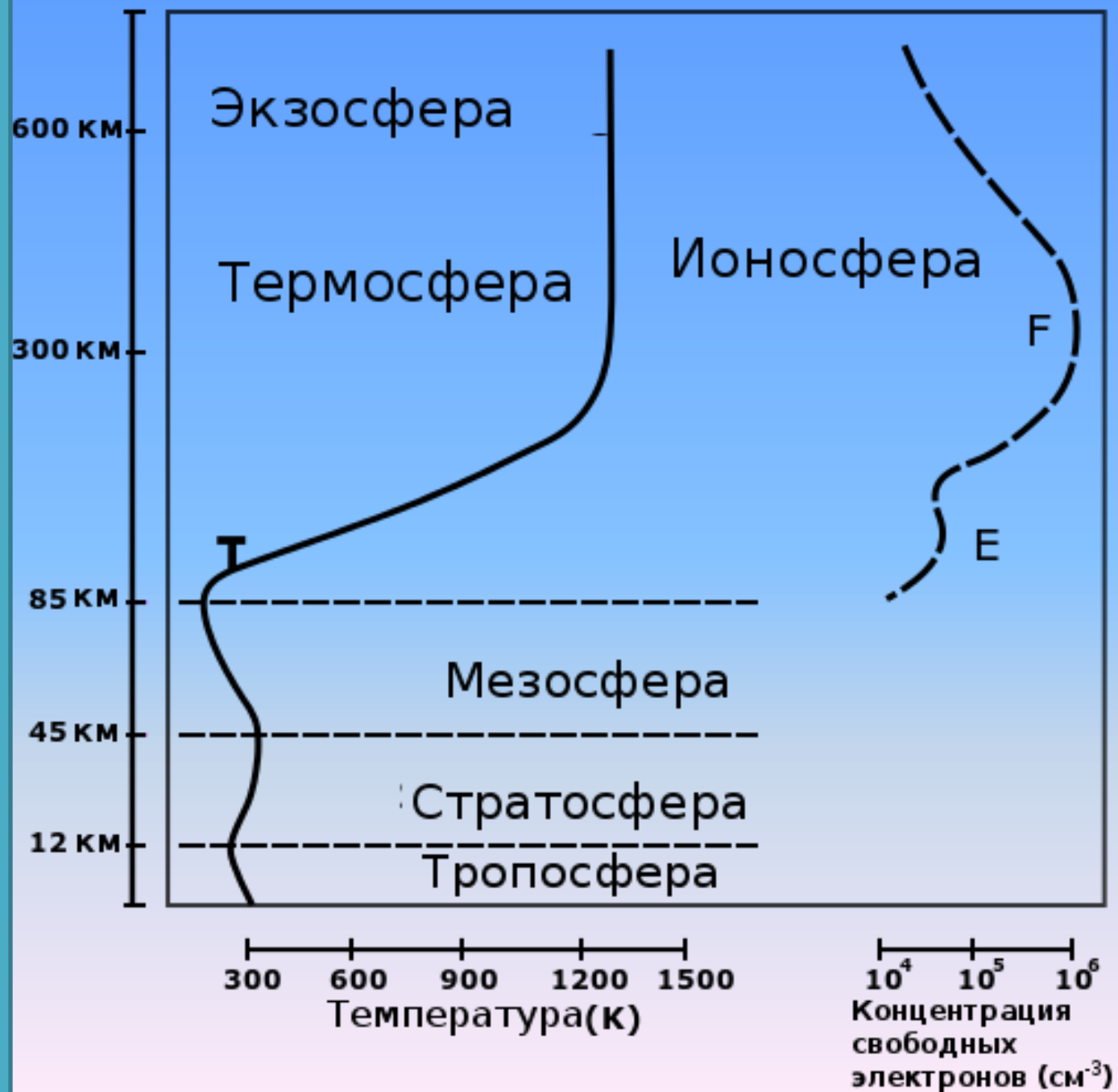
ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ВОЗДУХА С ВЫСОТОЙ

Высота	Соотношение и динамика компонентов	Преобладающий газ
2000 км	H	<i>H</i>
1300 км	H>O	
1100 км	H>N ₂	
700 км	O:O ₂ =10 000	
600 км	H>O ₂	
300 км	O:O ₂ =100	<i>He</i>
200 км	O:O ₂ =10; O=N ₂	
140 км	O = O ₂	
100 км	^{100 000} N ₂ и O ₂ >>>H ≥ H ₂	<i>O</i>
10-20 км	появление O	
0 м	N ₂ > O ₂ >...	

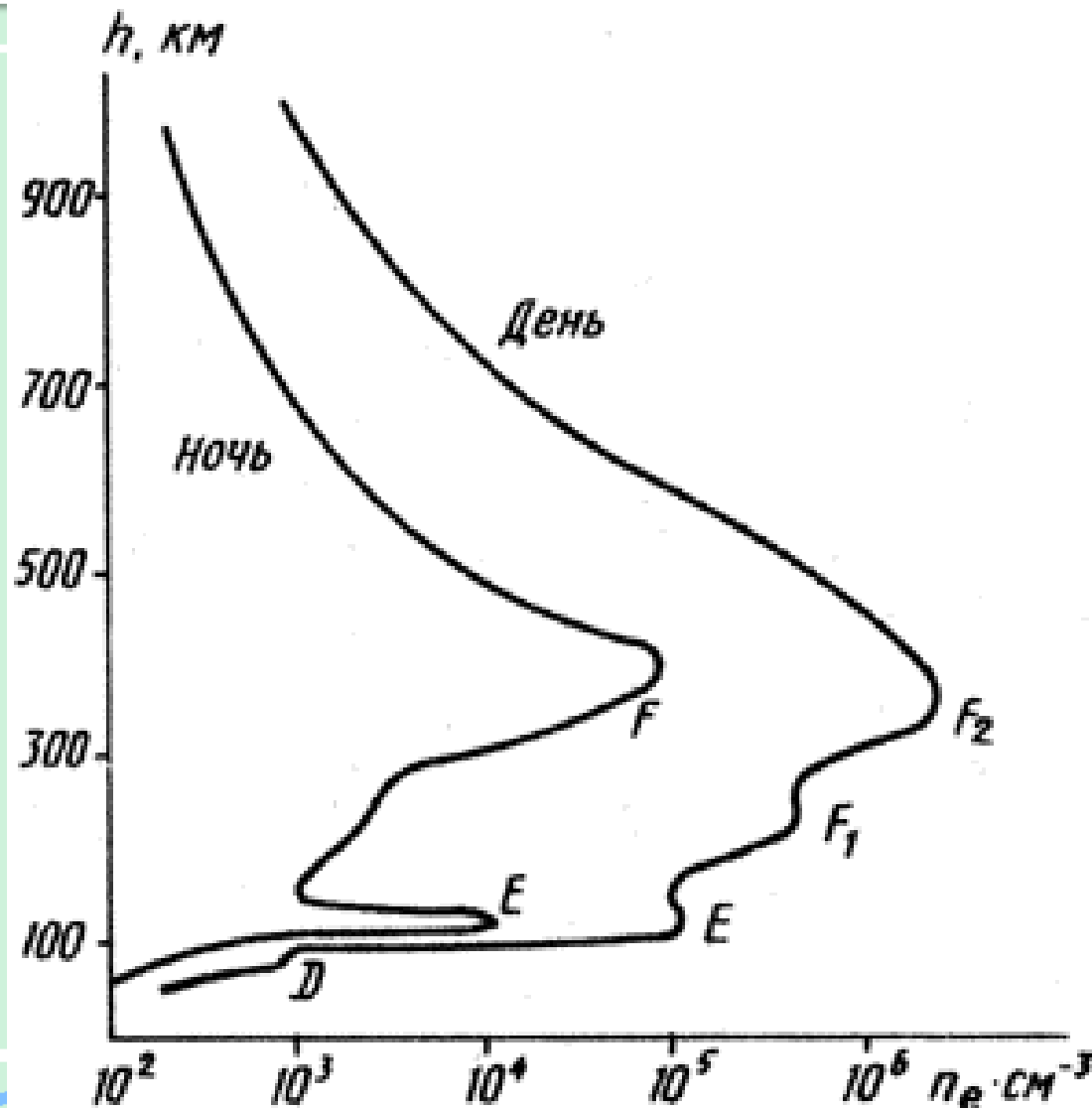
Деление атмосферы по наличию заряженных частиц

*На основании
электрических свойств
в атмосфере выделяют
нейтросферу и ионосферу,
границы которых примерно
совпадают с границами гомо- и
гетеросферы.*

Ионосфера – часть верхней атмосферы, где концентрация свободных электронов достаточно, чтобы оказывать заметное влияние на распространение радиоволн (концентрация свободных электронов должна быть выше 10^7 м^{-3} или 10 см^{-3}).



Типичное вертикальное распределение электронной концентрации в ионосфере для дневных и ночных условий



Днем на высотах

85–200 км преобладают **положительные** ионы NO^+ и O_2^+ ,

выше 200 км в области **F** – атомные ионы O^+ ,

600–1000 км – протоны H^+ ,

В нижней части области **D** (**ниже 70–80 км**) образуются комплексные ионы-гидраты типа $(H_2O)_nH^+$, а также отрицательные ионы, из которых наиболее стабильны ионы NO_2^- и NO_3^- .

Отрицательные ионы наблюдаются лишь в области D.

Выше области D нет ни ионов-связок, ни каких-либо отрицательных ионов.

**От 100 км и выше все ионы
являются положительными.**

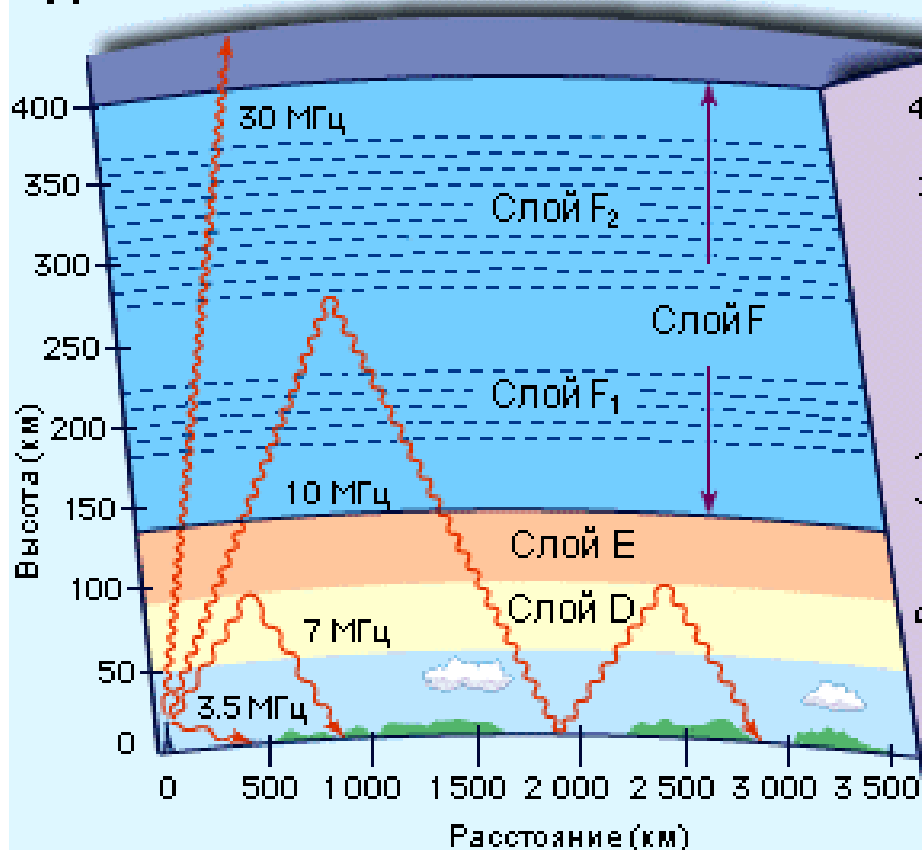
Излучение Солнца с $l = 85\text{--}911 \text{ \AA}$ большую часть ионов образует в ионосфере в области 120–200 км, излучение с $l = 911\text{--}1038 \text{ \AA}$ – на высотах 95–115 км, излучение с $l < 85 \text{ \AA}$ – на высотах 85–100 км.

Ионизация осуществляется *галактическими космическими лучами* ниже 60–70 км днем и ниже 80–90 км ночью.

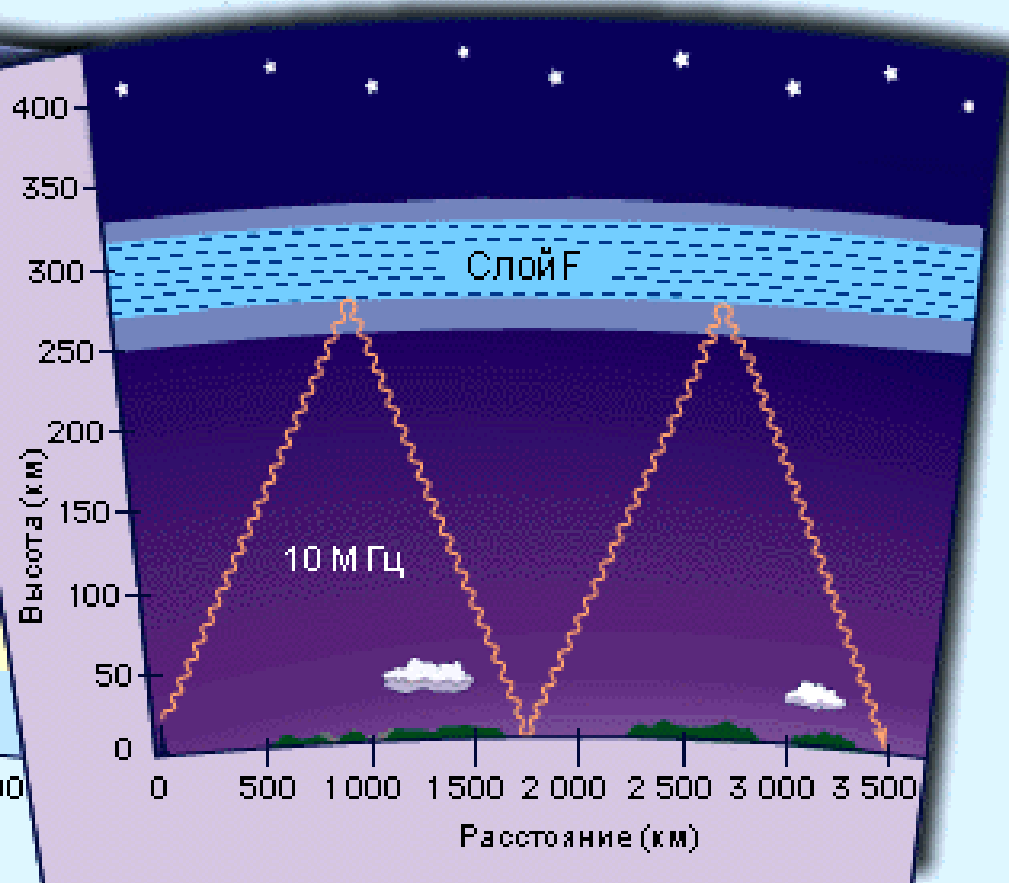
Существенный вклад в ионизацию области **D** на высотах около 80 км вносят корпускулярные потоки, а также солнечное излучение с $l = 1215,7 \text{ \AA}$.

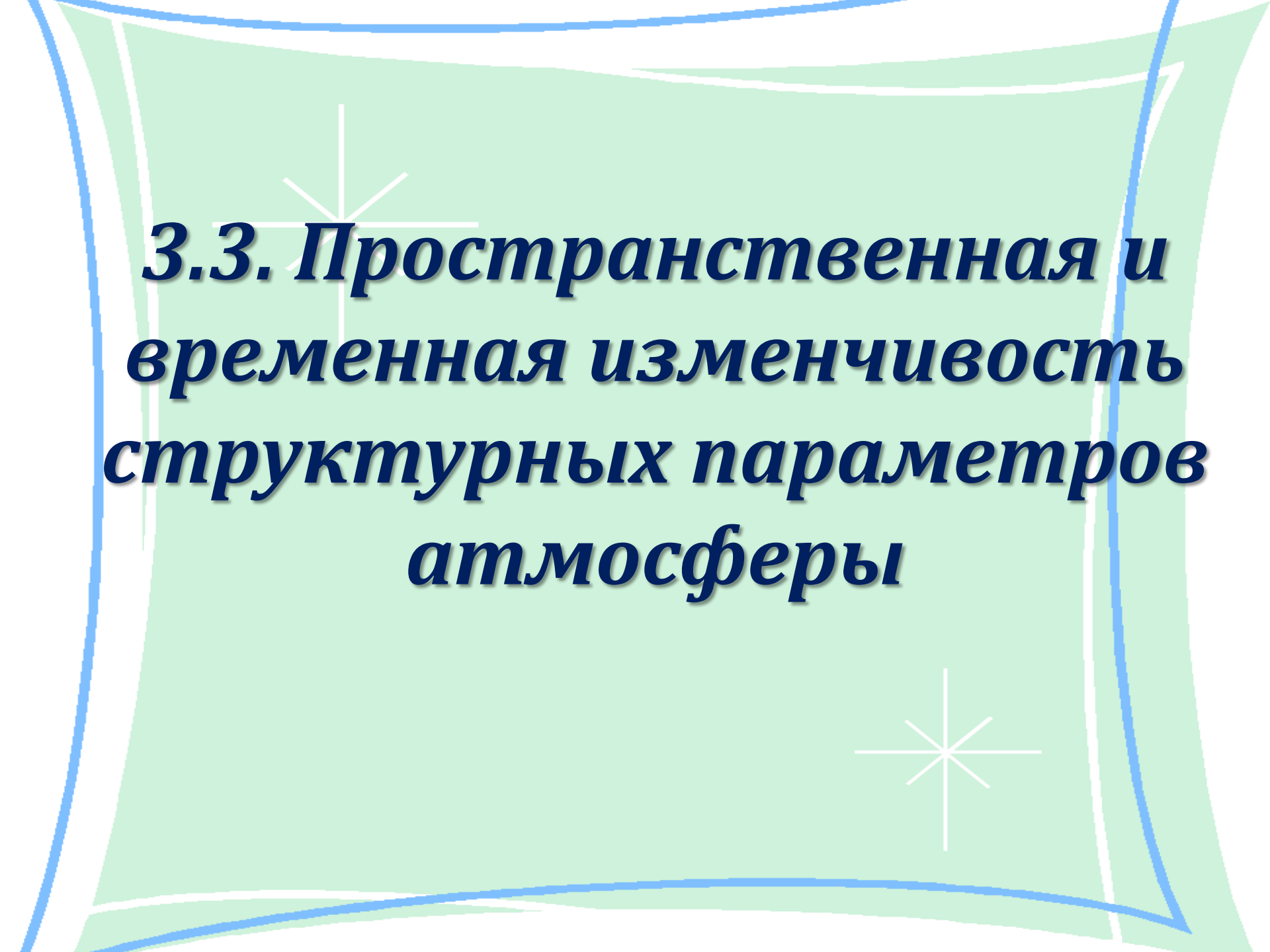
Слои ионосферы и распространение коротких волн в зависимости от частоты и времени суток

День



Ночь





3.3. Пространственная и временная изменчивость структурных параметров атмосферы

Основные параметры атмосферы на уровне моря

$$P=760 \text{ мм рт.ст.}=1013,25 \text{ гПа}$$

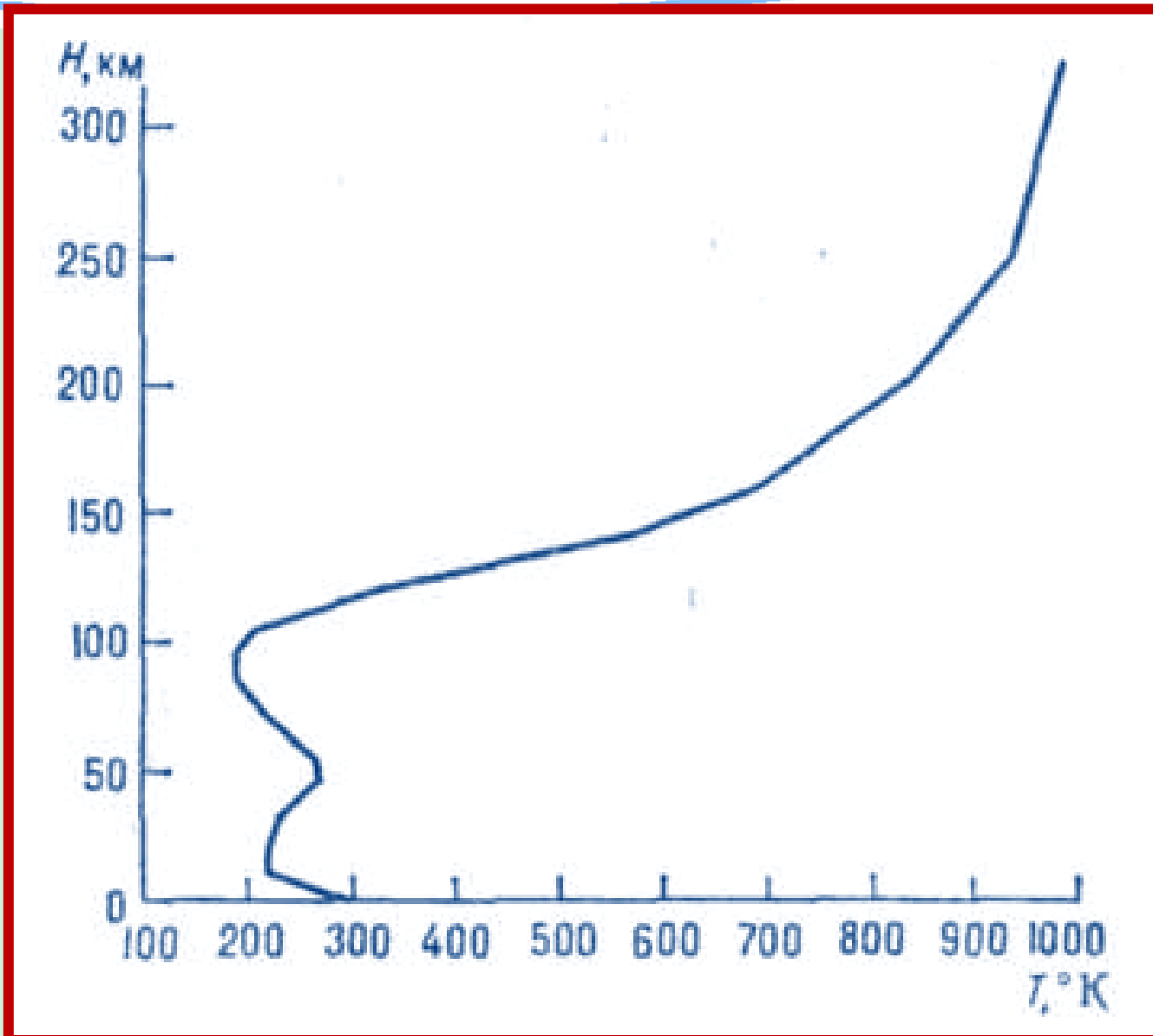
$$T = 288,15 \text{ К}; 15,0^\circ \text{ С}$$

$$f = 0\%$$

$$\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3;$$

$$g = 9,8066 \text{ м/с}^2$$

СТАНДАРТНАЯ АТМОСФЕРА – условная атмосфера, для которой заданы средние для широты $45^{\circ}32'33''$ значения температуры, давления, плотности, вязкости и других характеристик воздуха на высотах от 2 км ниже уровня моря до внешней границы земной атмосферы.



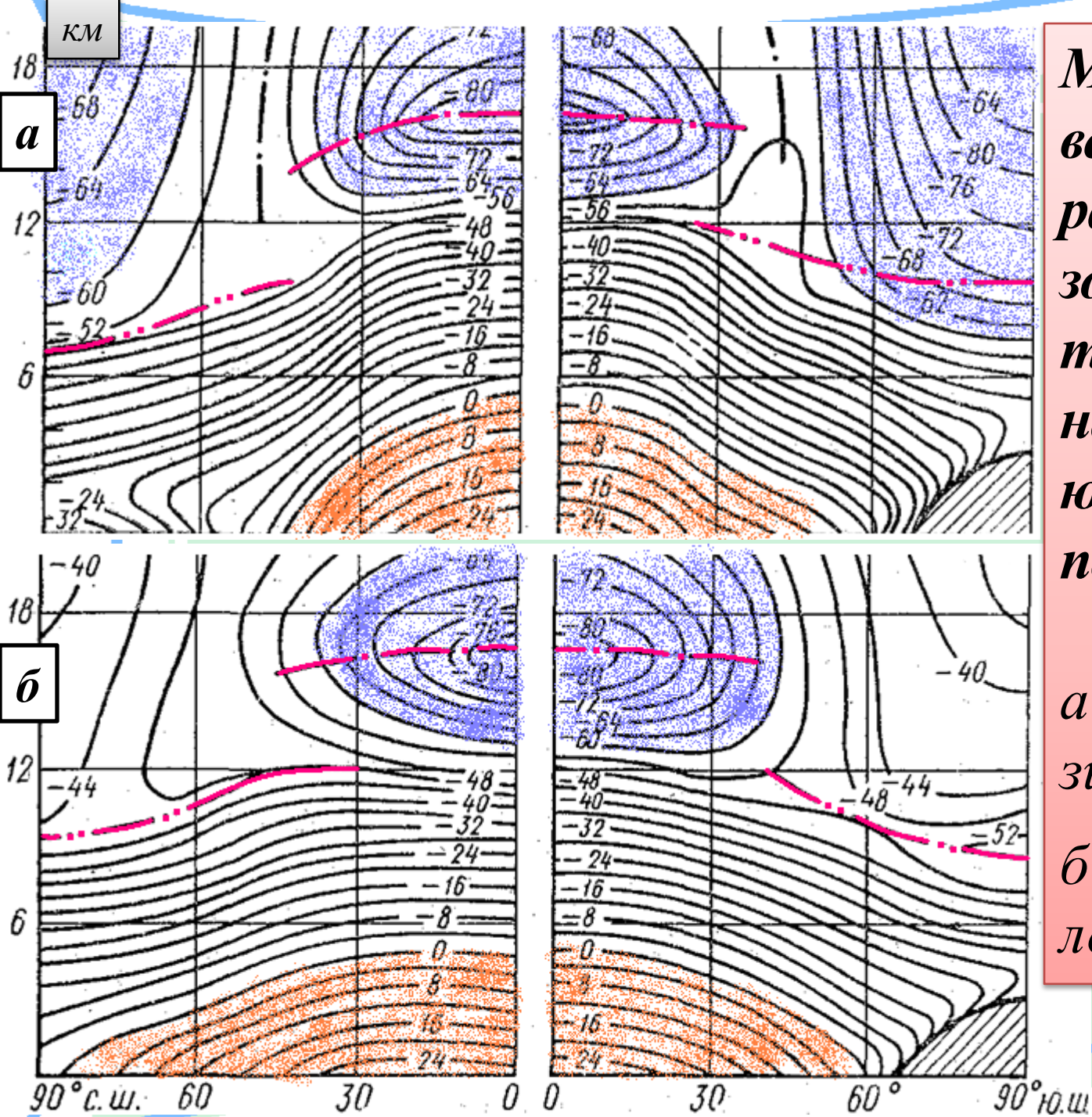
*Вертикальное распределение температуры
(Стандартной атмосфере (ГОСТ 440181))*

Параметры МСА Земли

Геометри- ческая высота Н, м	Величины в функции геометрической высоты						
	Температу- ра Т, К	Давление р, Па	Плотность p/p_c (ρ), кг/м ³		(ρ)/(ρ) _c	Скорость звука а, м/с	Кинематич- еская вязкость (ν), м ² /с
0	288,150	1,01325 + 5	1,22500	1,00000	1,00000	340,294	1,4607—5
250	286,525	9,83576 + 4	1,19587	9,70714—1	9,76220—1	339,333	1,4897
500	284,900	9,54613	1,16727	9,42130	9,52876	338,370	1,5195
750	283,276	9,26346	1,13921	9,14232	9,29964	337,403	1,5500
1000	281,651	8,98763	1,11166	8,87010	9,07477	336,435	1,5813
1500	278,402	8,45597	1,05810	8,34539	8,63759	334,489	1,6463
2000	275,154	7,95014	1,00655	7,84618	8,21676	332,532	1,7147
2500	271,906	7,46917	9,56954—1	7,37150	7,81187	330,563	1,7868
3000	268,659	7,01212	9,09254	6,92042	7,42248	328,584	1,8628
3500	265,413	6,57804	8,63402	6,49202	7,04818	326,592	1,9429
4000	262,166	6,16604	8,19347	6,08541	6,68854	324,589	2,0275
4500	258,921	5,77526	7,77038	5,69973	6,34317	322,573	2,1167
5000	255,676	5,40483	7,36429	5,33415	6,01166	320,545	2,2110
5500	252,431	5,05398	6,97469	4,98784	5,69362	318,505	2,3107
6000	249,187	4,72176	6,60111	4,66002	5,38866	316,452	2,4162
6500	245,943	4,40755	6,24310	4,34991	5,09641	314,385	2,5278
7000	242,700	4,11053	5,90018	4,05677	4,81648	312,306	2,6461
7500	239,457	3,82997	5,57192	3,77988	4,54850	310,212	2,7714
8000	236,215	3,56516	5,25786	3,51854	4,29213	308,105	2,9044
8500	232,974	3,31542	4,95757	3,27206	4,04700	305,984	3,0457
9000	229,733	3,08007	4,67063	3,03979	3,81276	303,848	3,1957
9500	226,492	2,85847	4,39661	2,82109	3,58907	301,697	3,3553
10000	223,252	2,64999	4,13510	2,61533	3,37559	299,532	3,5251
10500	220,013	2,45402	3,88570	2,42193	3,17200	297,351	3,7060
11000	216,774	2,26999	3,64801	2,24031	2,97797	295,154	3,8988

Примерные высоты изобарических поверхностей

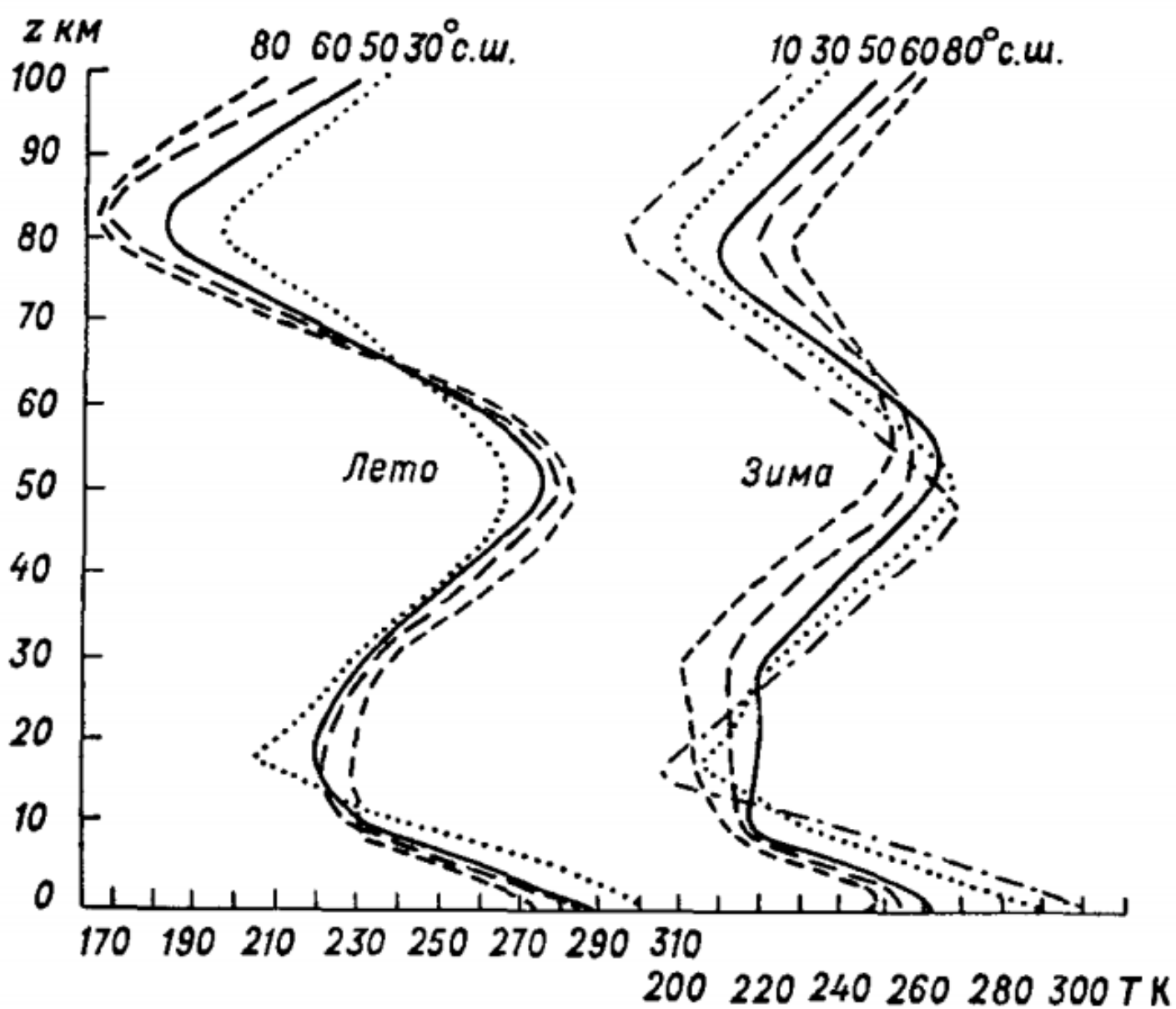
Изобарическая поверхность, гПа	Высота	Изобарическая поверхность, гПа	Высота
1000	100 м	200	12 км
925	800 м	100	16 км
850	1500 м	50	20 км
700	3 км	30	25 км
500	5,5 км	10	30 км
400	7 км	2	40 км
300	9 км	0,4–0,1	60 км



*Меридиональные
вертикальные
разрезы средней
зональной
температуры
над северным и
южным
полушариями*

*а – центральный
зимний месяц,
б – центральный
летний месяц*

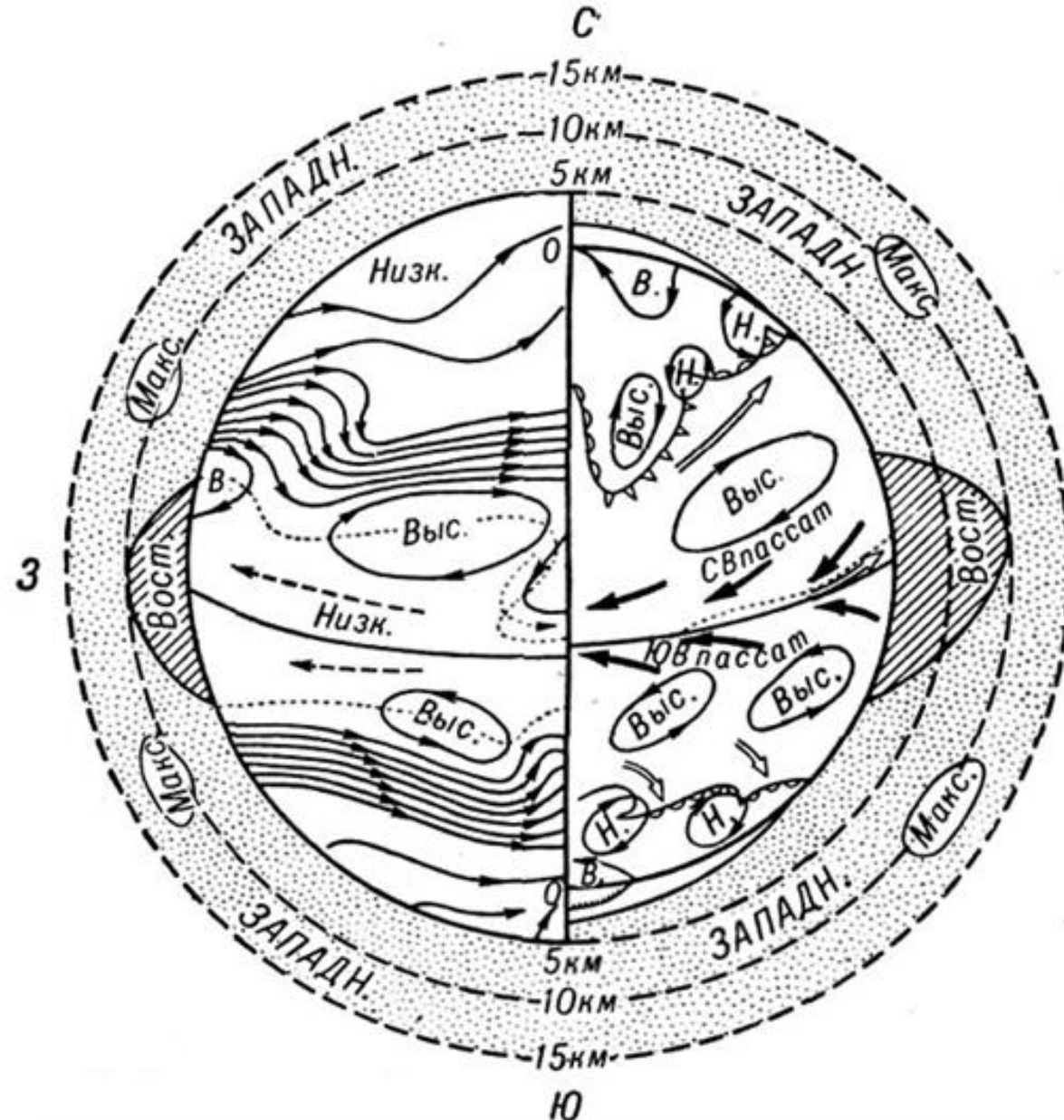




**Распределение средней зональной температуры
в слое 0 – 100 км**

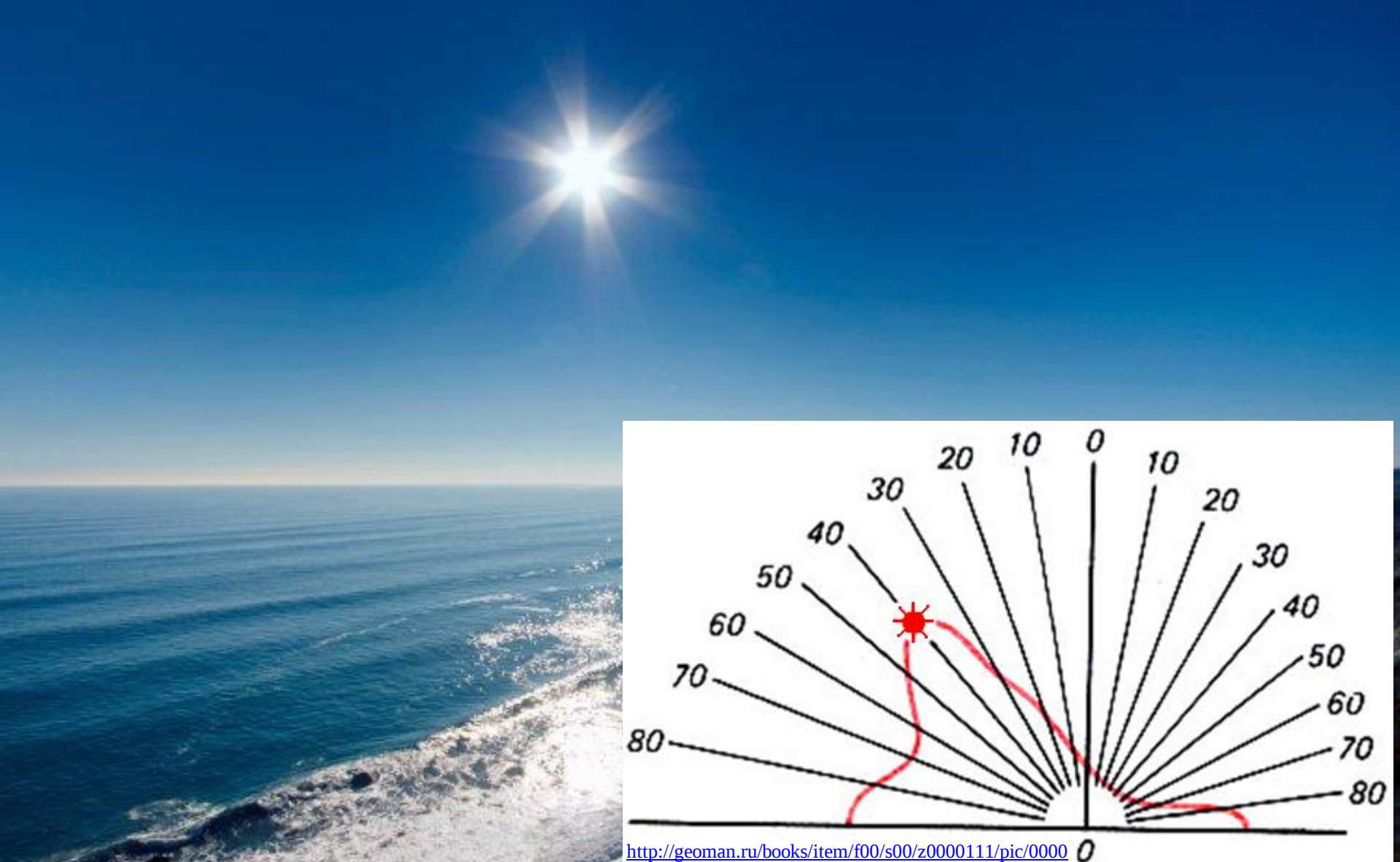
справа - течения в
приземном слое
воздуха,

слева - на высоте
около 5 км.



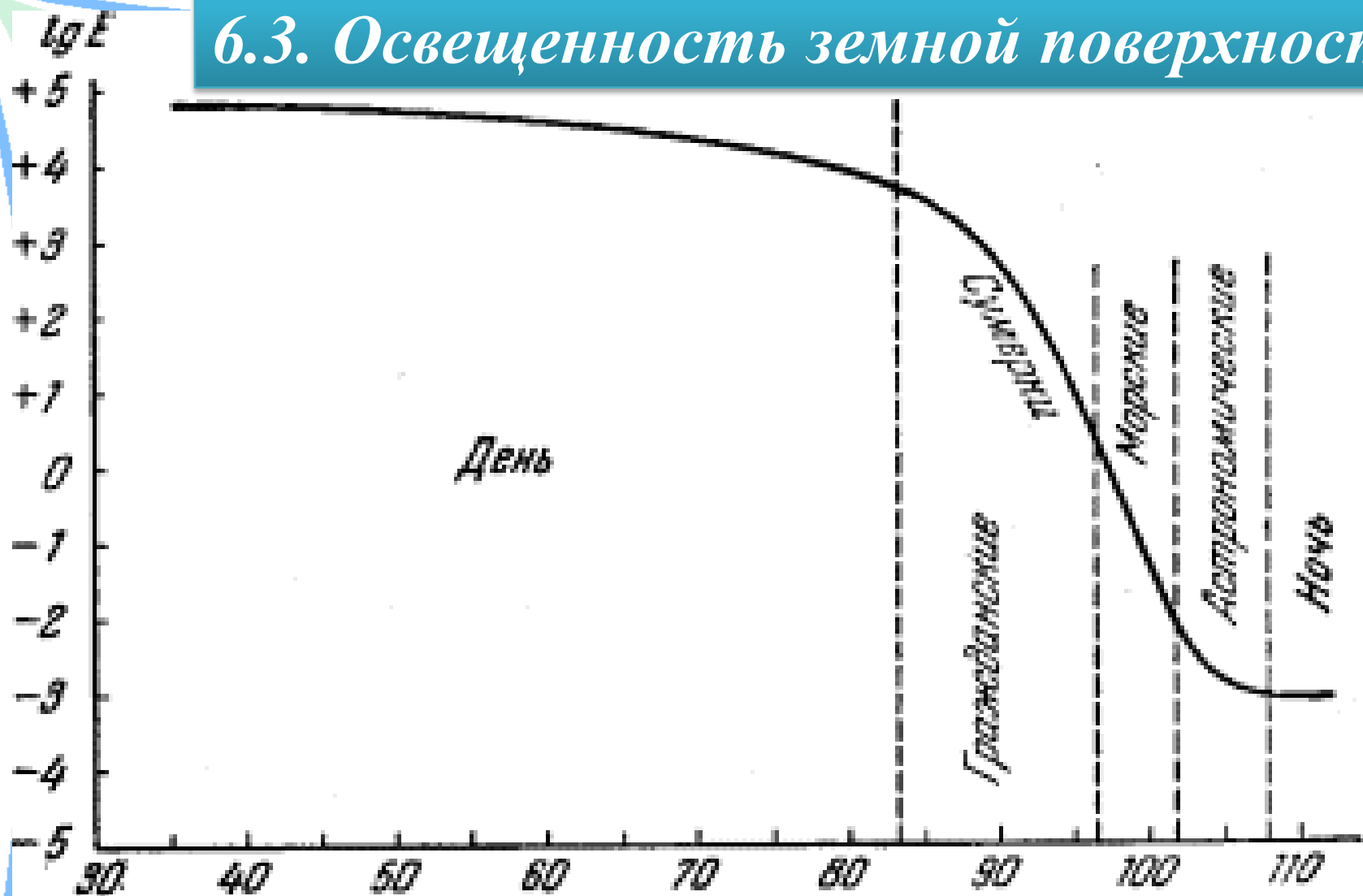
- Изобара и поток вдоль нее
- Теплый
- Холодный } Приземный ветер
- Теплый
- Холодный } Фронт
- ▨ Восточные ветры
- ▨ Западные ветры } Вертикальный разрез
- Макс Зона максимальной скорости

**Схема общей циркуляции атмосферы
над однородной поверхностью**



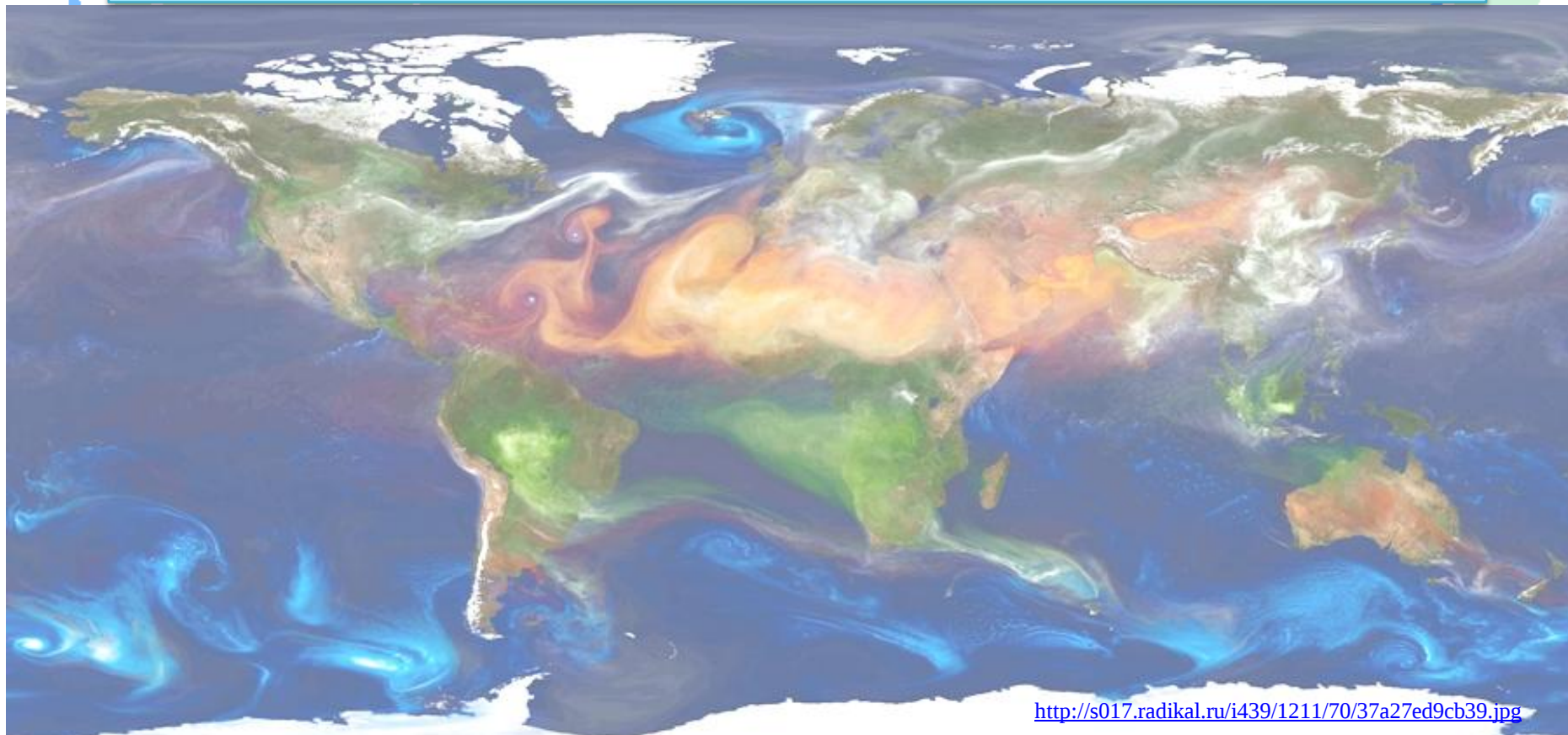
Распределение яркости по небесному своду в вертикале Солнца

6.3. Освещенность земной поверхности



**Осредненная зависимость освещенности
(в люксах) горизонтальной площадки
от зенитного расстояния Солнца**

3.4. Атмосферный аэрозоль



<http://s017.radikal.ru/i439/1211/70/37a27ed9cb39.jpg>

Аэрозоль — дисперсная система, состоящая из газообразной дисперсионной среды и твердой или жидкой дисперсной фазы, *иначе говоря, это взвесь твердых или жидких частиц в газе.*

По источникам и механизмам образования (типы глобального *тропосферного* аэрозоля)

- фоновый тропосферный аэрозоль;
- минеральный (почвенно-эрозионный) аэрозоль;
- морской аэрозоль;
- органический аэрозоль

(типы глобального *стратосферного* аэрозоля)

- фоновый стратосферный аэрозоль);
- вулканический аэрозоль;
- дымовые частицы;
- полярные стратосферные облака.

По размеру частиц аэрозоли можно разделить на три группы (r – радиус частицы):

- - неустойчивые, гигантские частицы ($r > 10 \mu\text{м}$),
- - относительно устойчивые, большие частицы ($1-10 \mu\text{м}$),
- - устойчивые ($< 1 \mu\text{м}$), так называемые ядра Айткена.

Комплексная классификация аэрозоля

1) Морской аэрозоль

Выпадение соли **от 3 до 4 т/км² в год**

2) Сульфатный аэрозоль

Наибольший вклад в антипарниковый эффект.

3) Пустынный аэрозоль

4) Биогенный аэрозоль

5) Дымовой аэрозоль

Продукция **0,003 Гт/год**, достигает 0,150 Гт/год.

6) Вулканический аэрозоль

7) Промышленный сульфатный аэрозоль

Продукция более **0,13-0,20 Гт/год**.

8) Промышленная пыль (не менее **0,045 Гт/год**)

9) Космическая пыль

В тропосфере время жизни аэрозолей составляет *от 6 до 40 суток*.

В стратосфере среднее время жизни аэрозольных частиц увеличивается с высотой:

- до месяца в слое 10-12 км,
- 1-2 года на высоте 20 км,
- от 4 до 20 лет на высоте 50 км