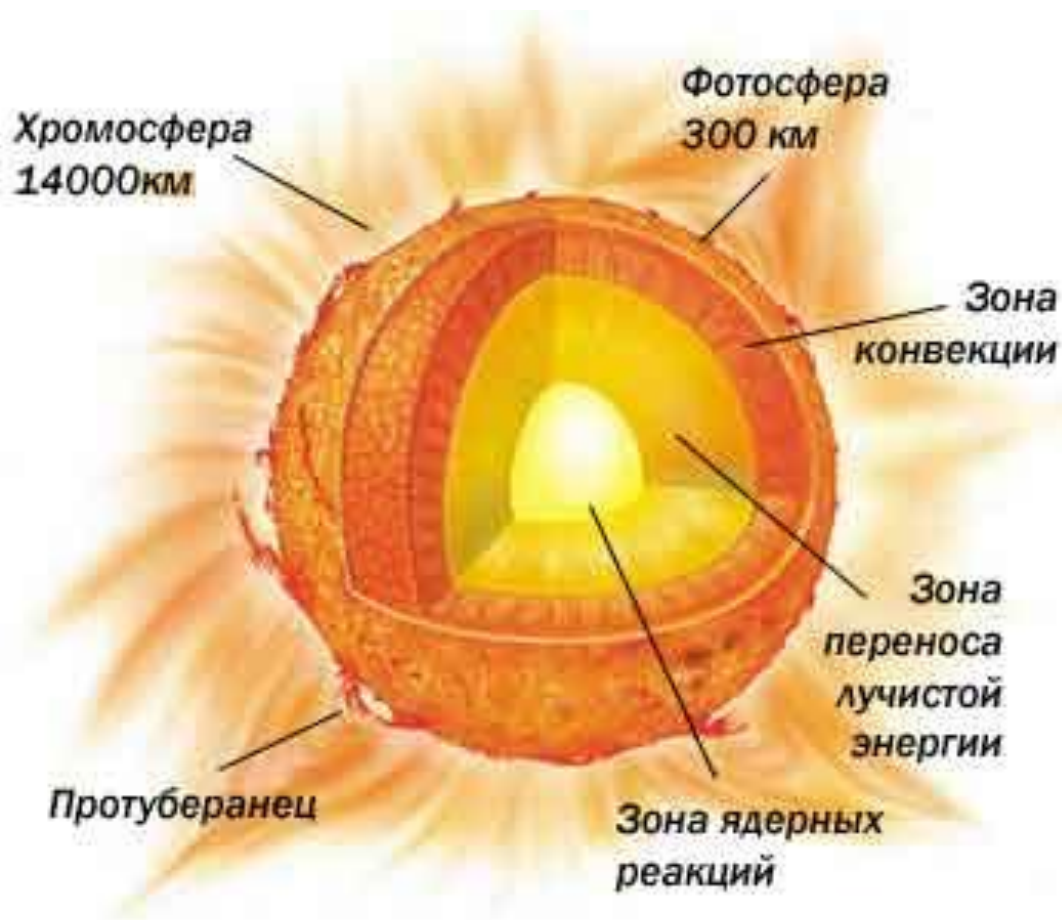
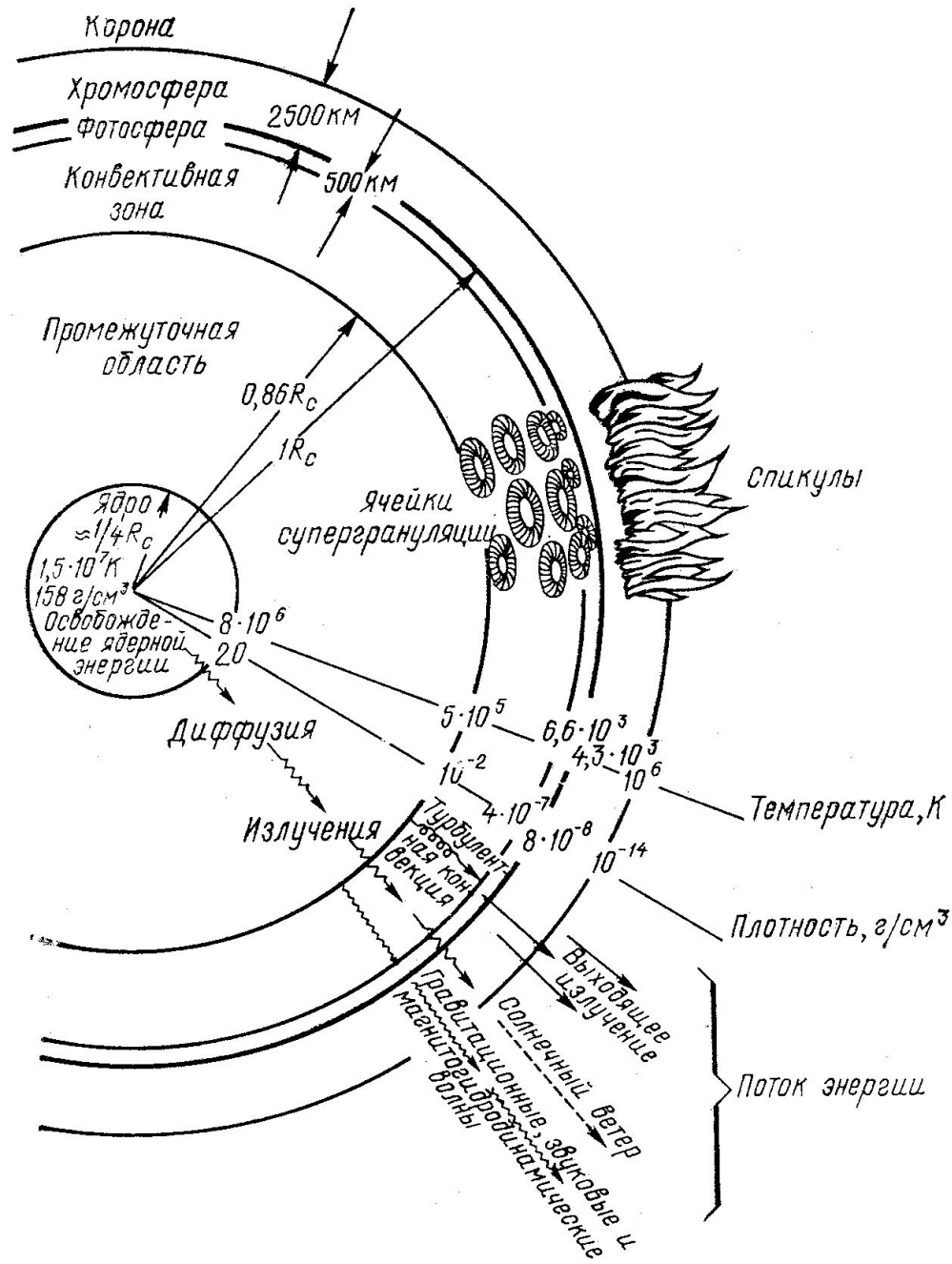


# Атмосфера Солнца и солнечная активность

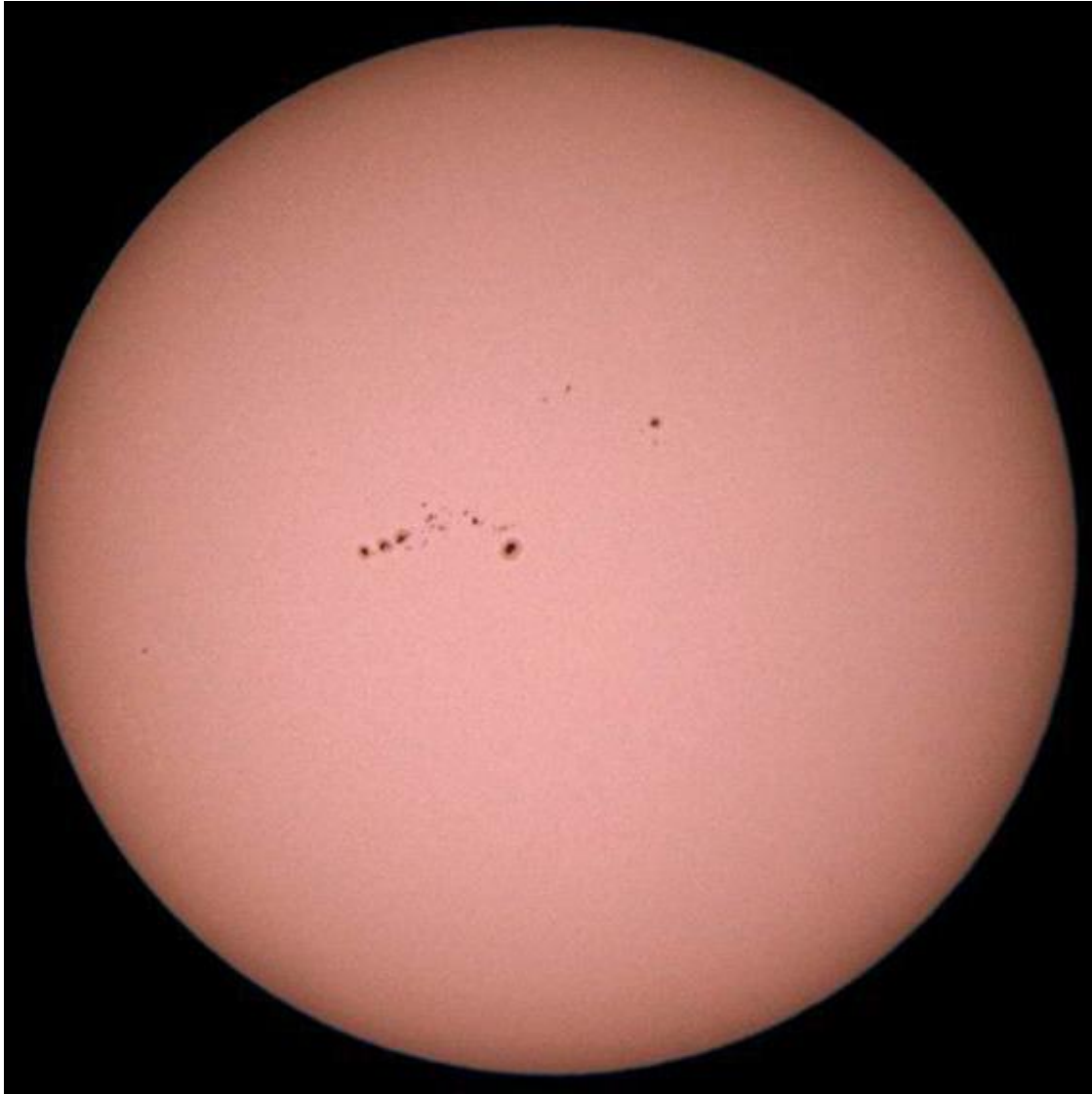




# Фотосфера

Толщина:  $\sim 300 \div 500$  км. Плотность:  $10^{-8} \div 10^{-9}$  г/см<sup>3</sup>

Давление:  $\sim 0,1$  атм.



Образует **видимый**  
**диск Солнца.**

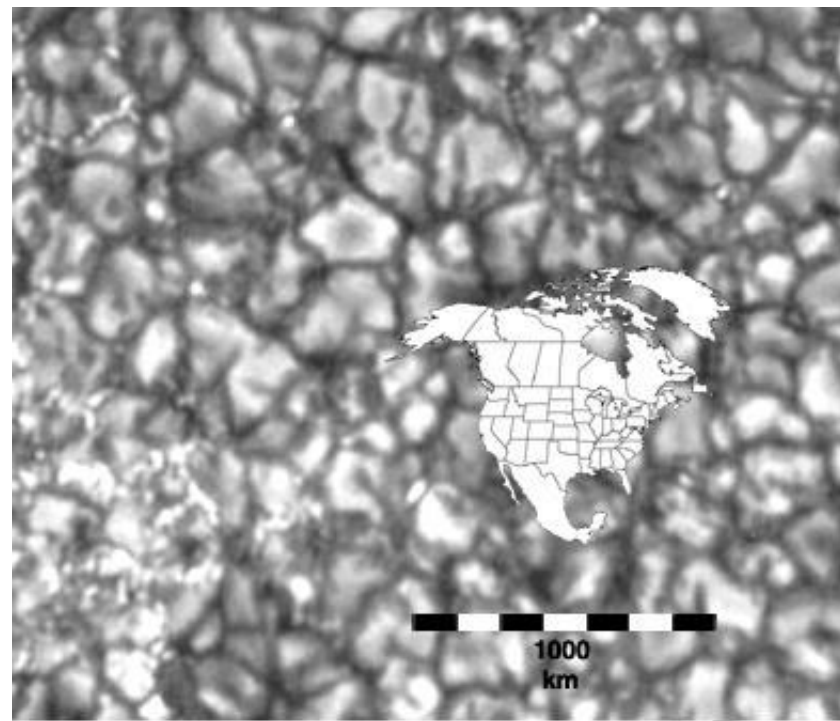
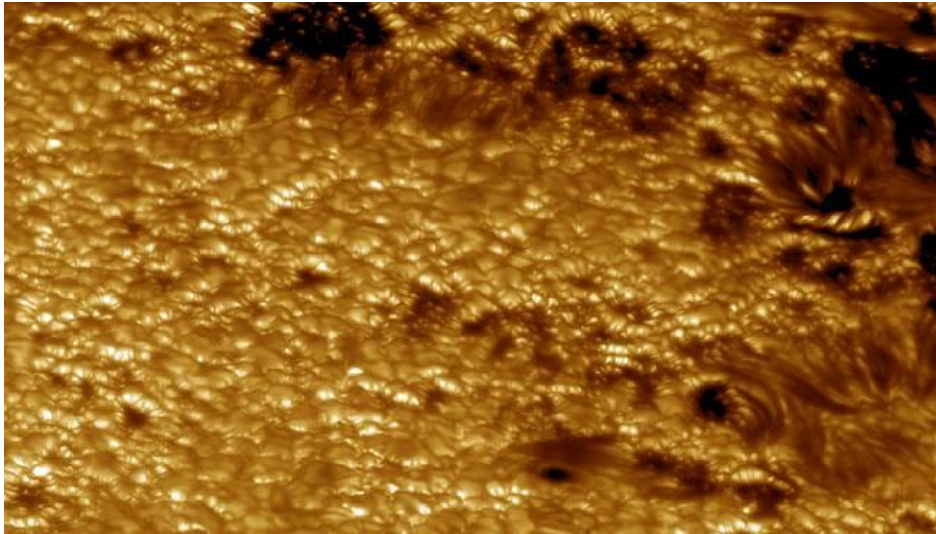
Видны **солнечные**  
**пятна**

## Гранулы

Размер: около **300 – 1500 км.**

Среднее время жизни: **8 мин.**

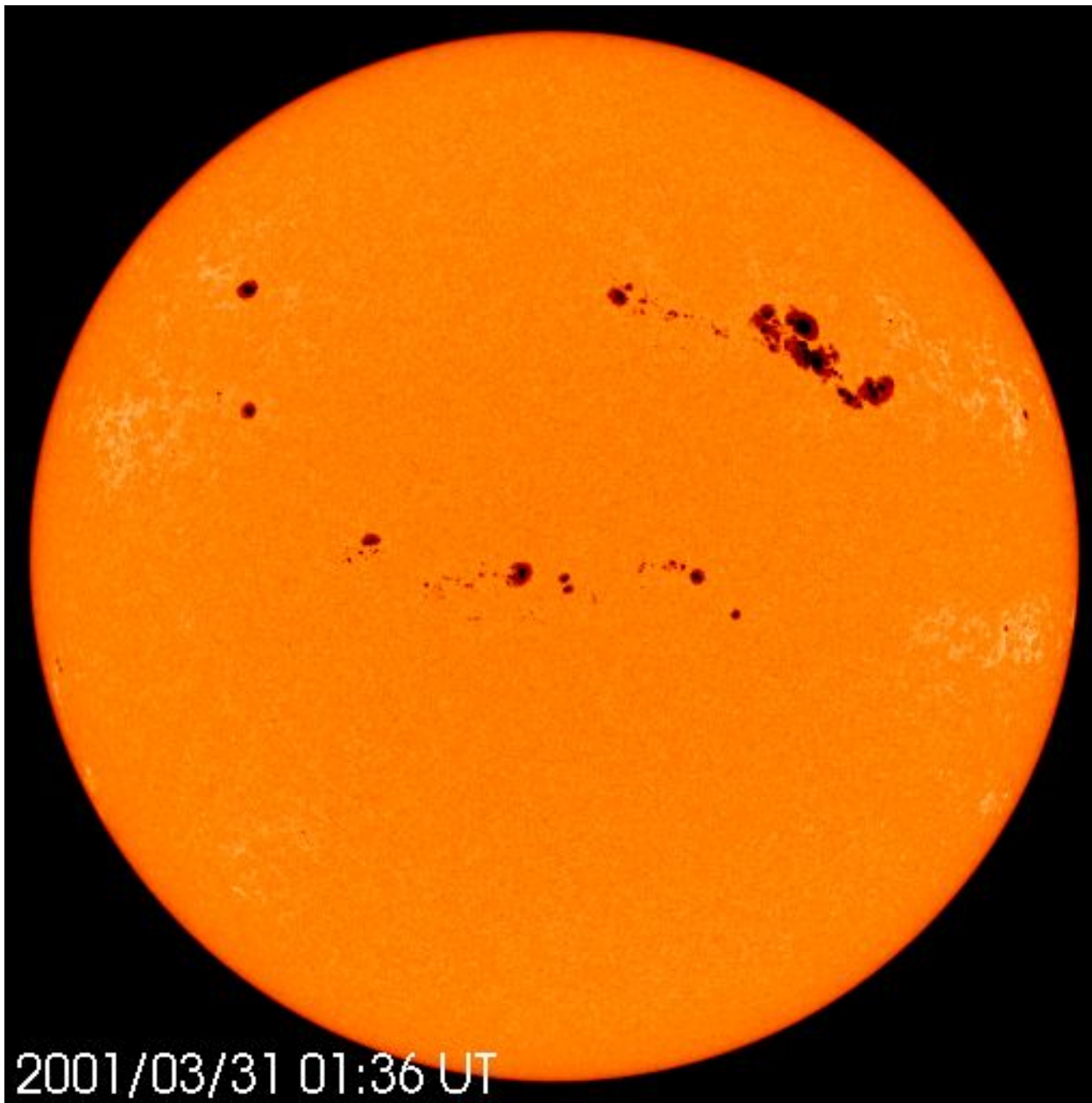
Общее количество  $\approx 2 \cdot 10^6$



Photospheric granulation, G. Scharmer  
Swedish Vacuum Solar Telescope  
10 July 1997

Образованы тепловой **конвекцией**, т.е. всплыванием горячих газовых потоков изнутри Солнца со скоростью  **$\sim 1$  км/с.** Формируют характерную зернистую структуру спокойной солнечной фотосферы.

## Пятна и факелы



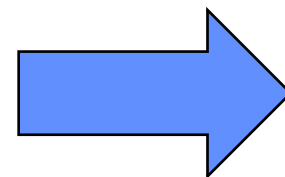
## Вращение Солнца

Обнаружено при наблюдении за солнечными пятнами.

**Сидерический** период собственного вращения  $\approx$  **25 суток**

**Синодический** период собственного вращения  $\approx$  **27 суток**

**Дифференциальный характер вращения** – низкие широты имеют большую угловую скорость по сравнению с высокими.



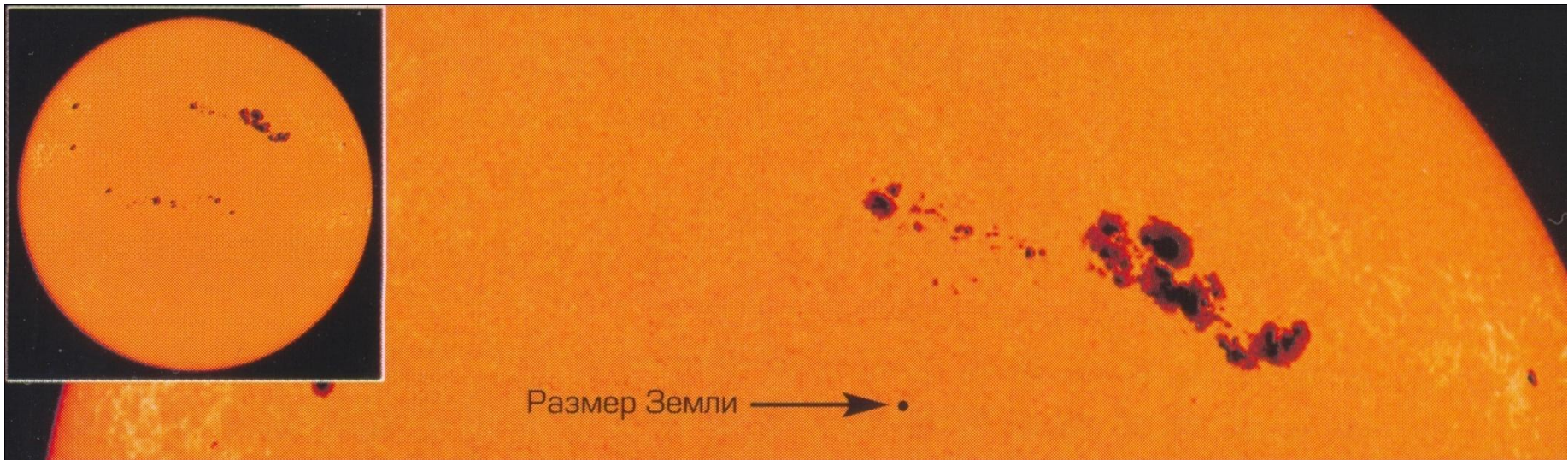
## Солнечные пятна

Темные локальные области фотосферы.

Время жизни пятна составляет обычно **от нескольких дней до нескольких месяцев.**

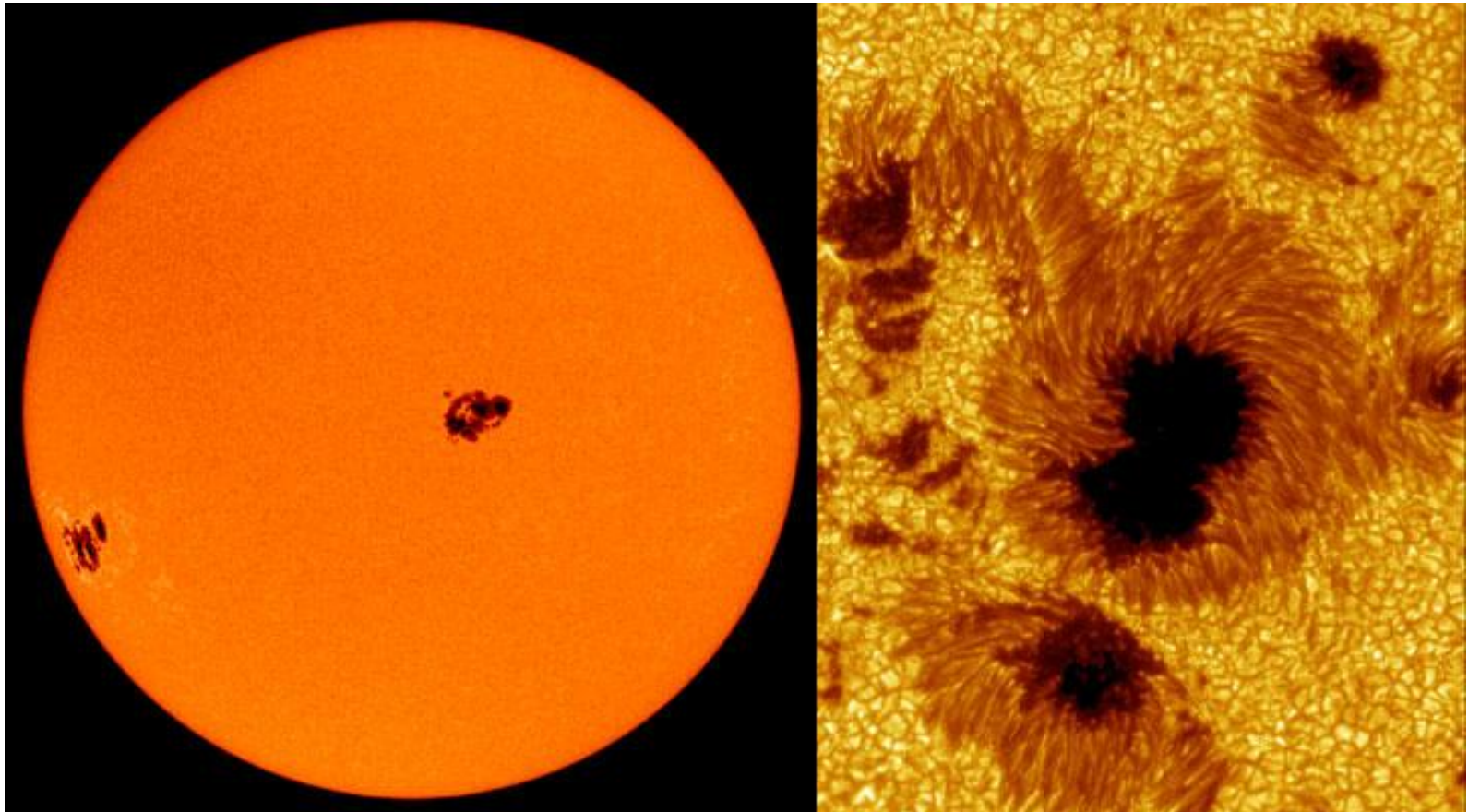
Размеры – **от 1000 до десятков тысяч км.**

Наблюдаются группы пятен, которые занимают площадь  $\sim 10^9$  **км<sup>2</sup>** и более. В таких группах пятен могло бы поместиться более **100 Земных шаров.**

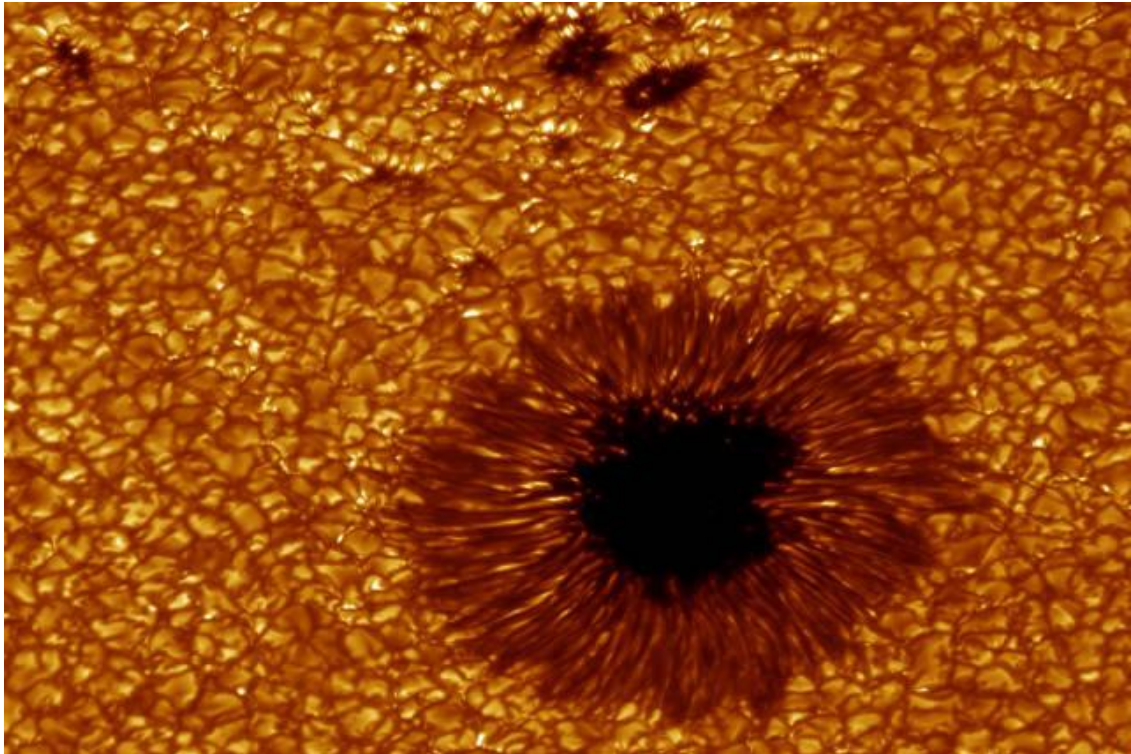


Пятна – области фотосферы с **пониженной температурой**  
 **$T \approx 4500$  К.**

Имеют сложную структуру (тень, полутень, волокна, зерна...).



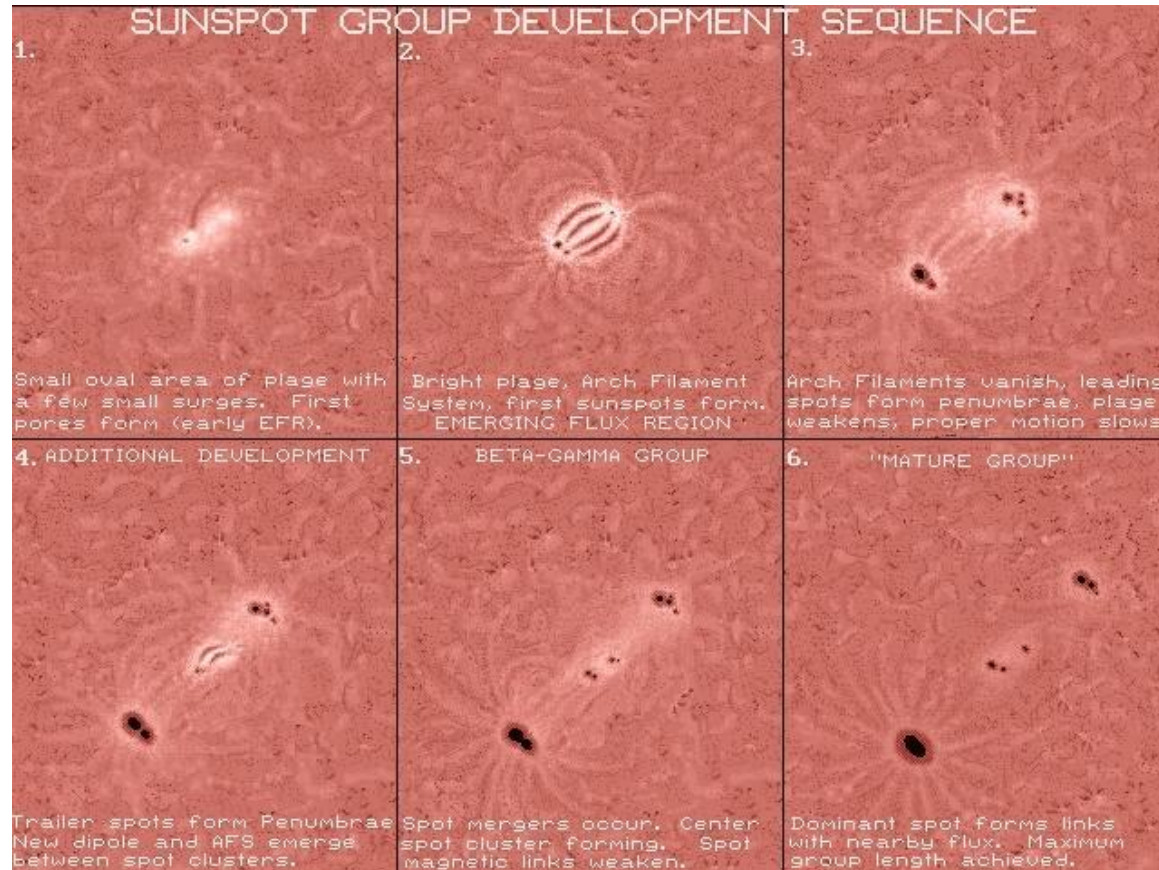




Чаще всего, пятна образуются **парами с противоположными направлениями поля.**

Более западное пятно называется **головным (ведущим)**, более восточное – **хвостовым**. Ведущее пятно расположено ближе к экватору. Сначала пятна **растут и дробятся.**

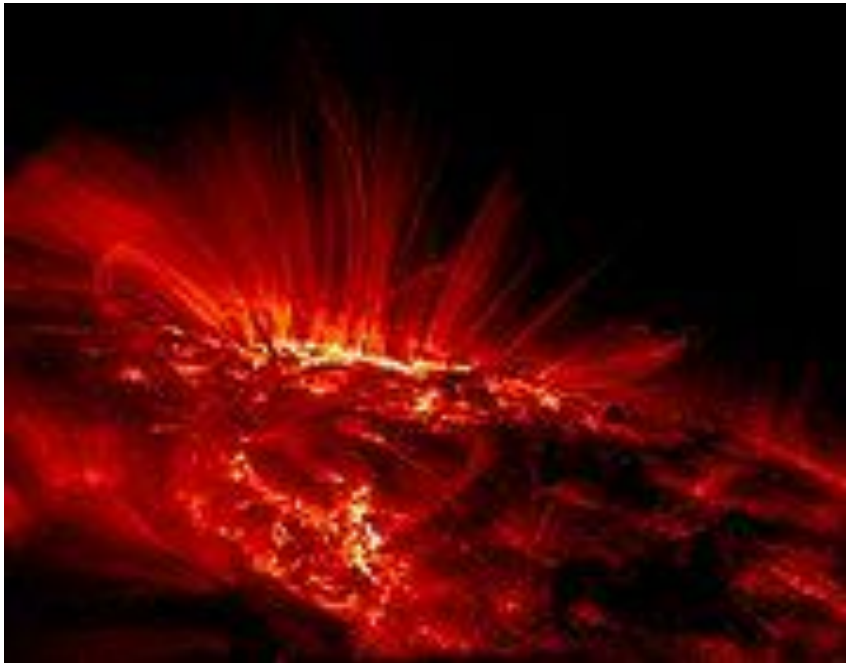
Через **несколько суток** общая площадь достигает максимума. Затем происходит **уменьшение** размеров пятен и их **распад.**



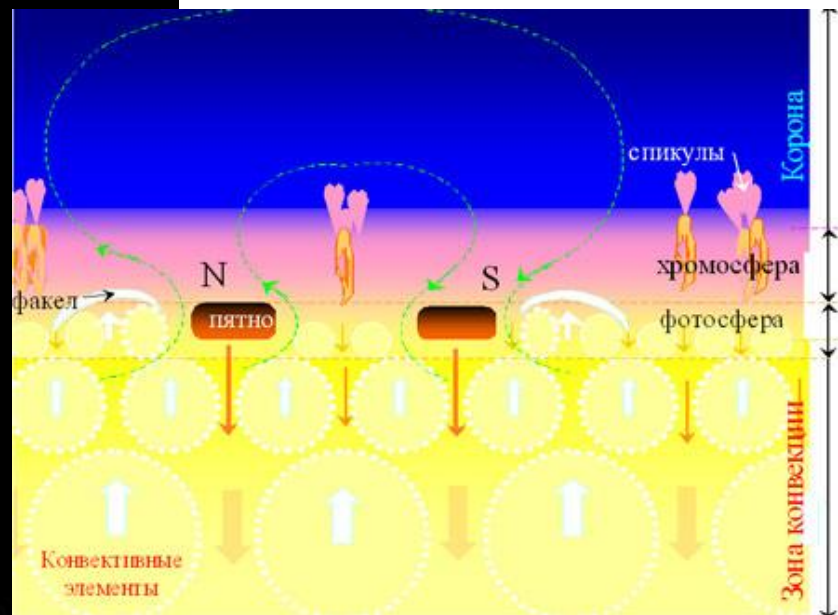
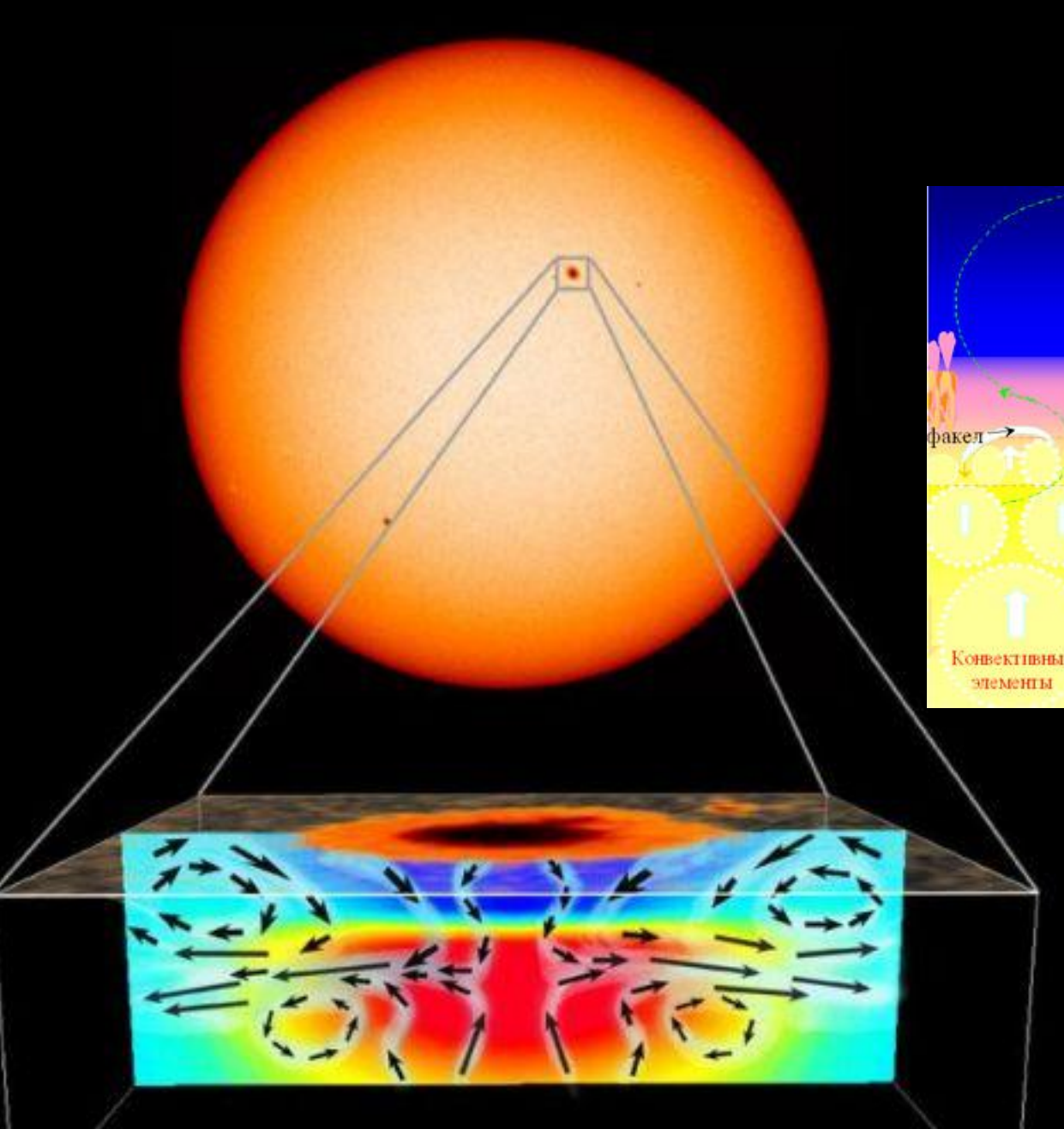
**Индукция магнитного поля от 100 до 400 Гс,**  
(обнаружено по эффекту Зеемана).

**Линии индукции поля  $\perp$  поверхности Солнца  
в тени пятна и  $\parallel$  в области полутени.**

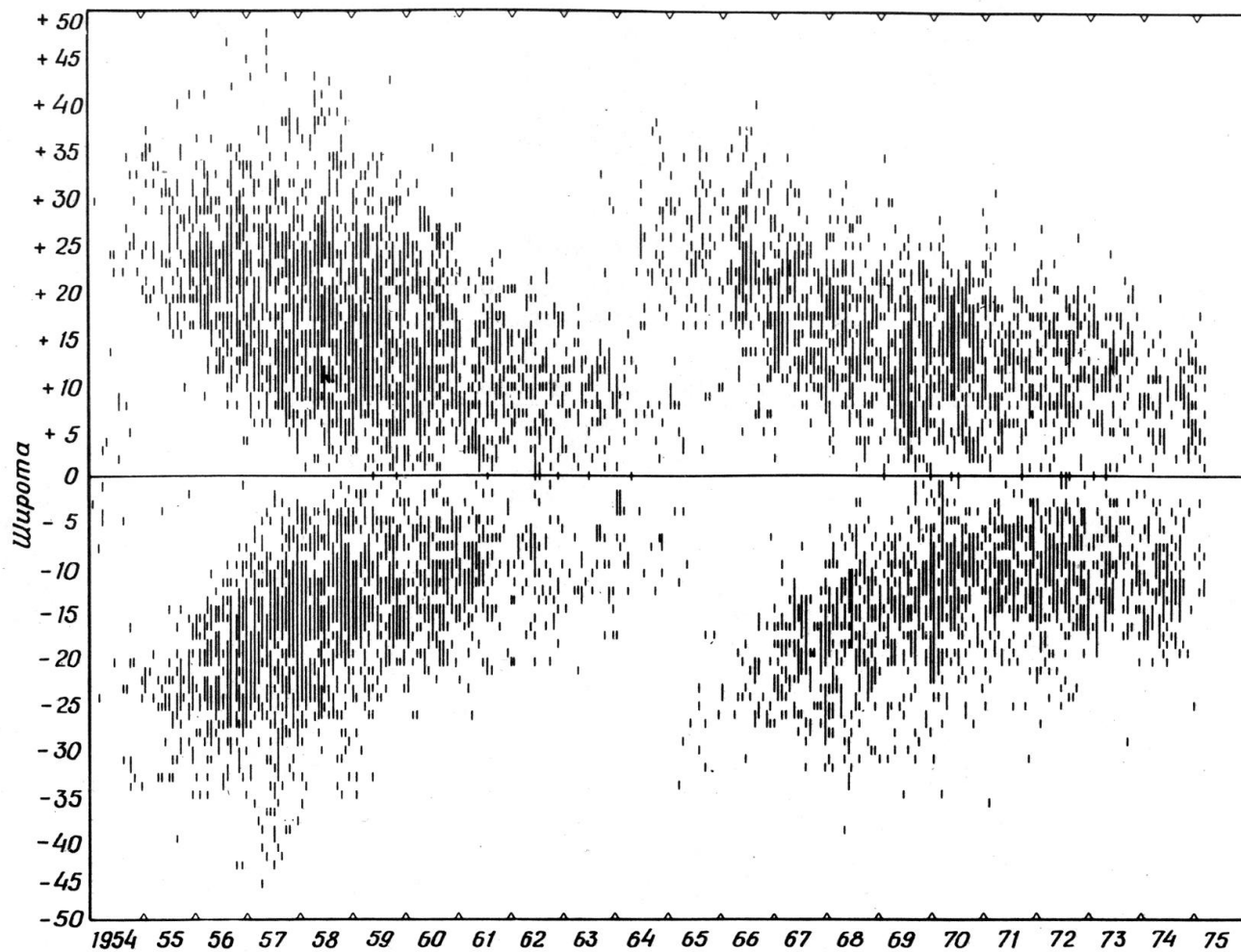
**Для создания магнитного потока среднего пятна требуется  
электрический ток силой  $\sim 10^{12}$  А.**

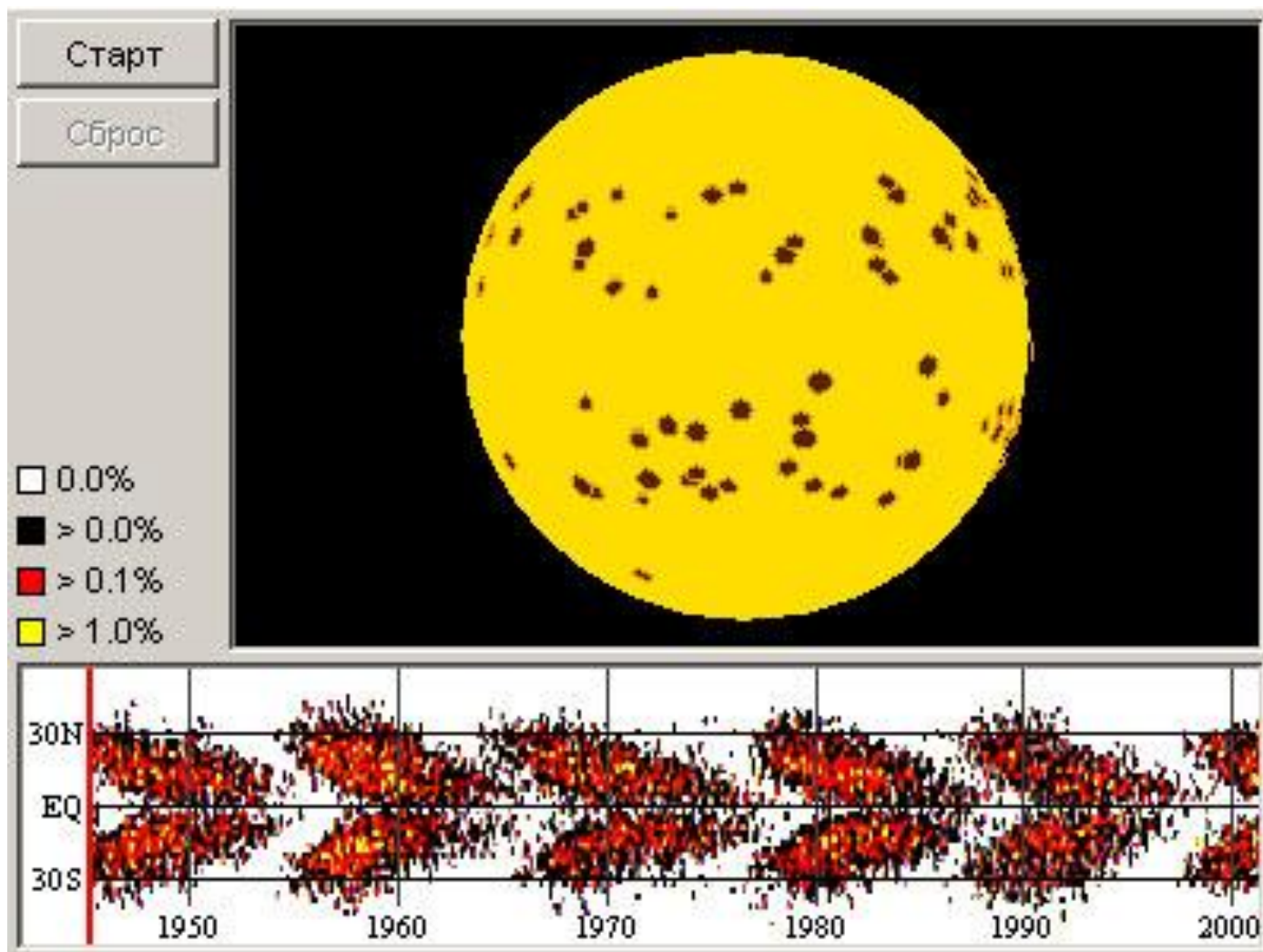


Пониженная температура  
внутри пятен объясняется  
торможением конвекции  
сильным магнитным полем.



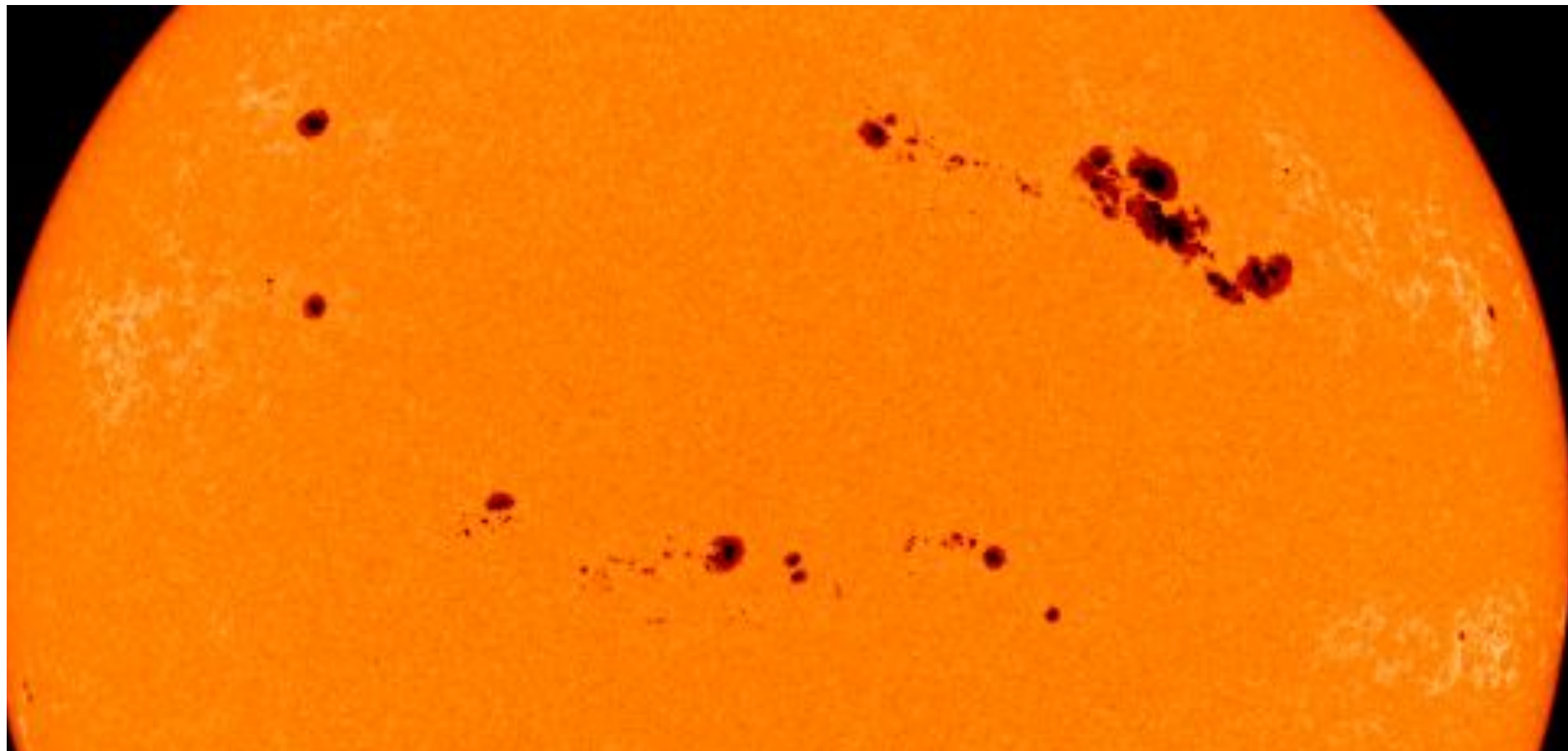
Пятна, как правило, возникают вблизи экватора на широтах  $5^{\circ}$   
 $-40^{\circ}$ .





# Факелы

Объекты **фотосферы** повышенной яркости, окружающие солнечные пятна.



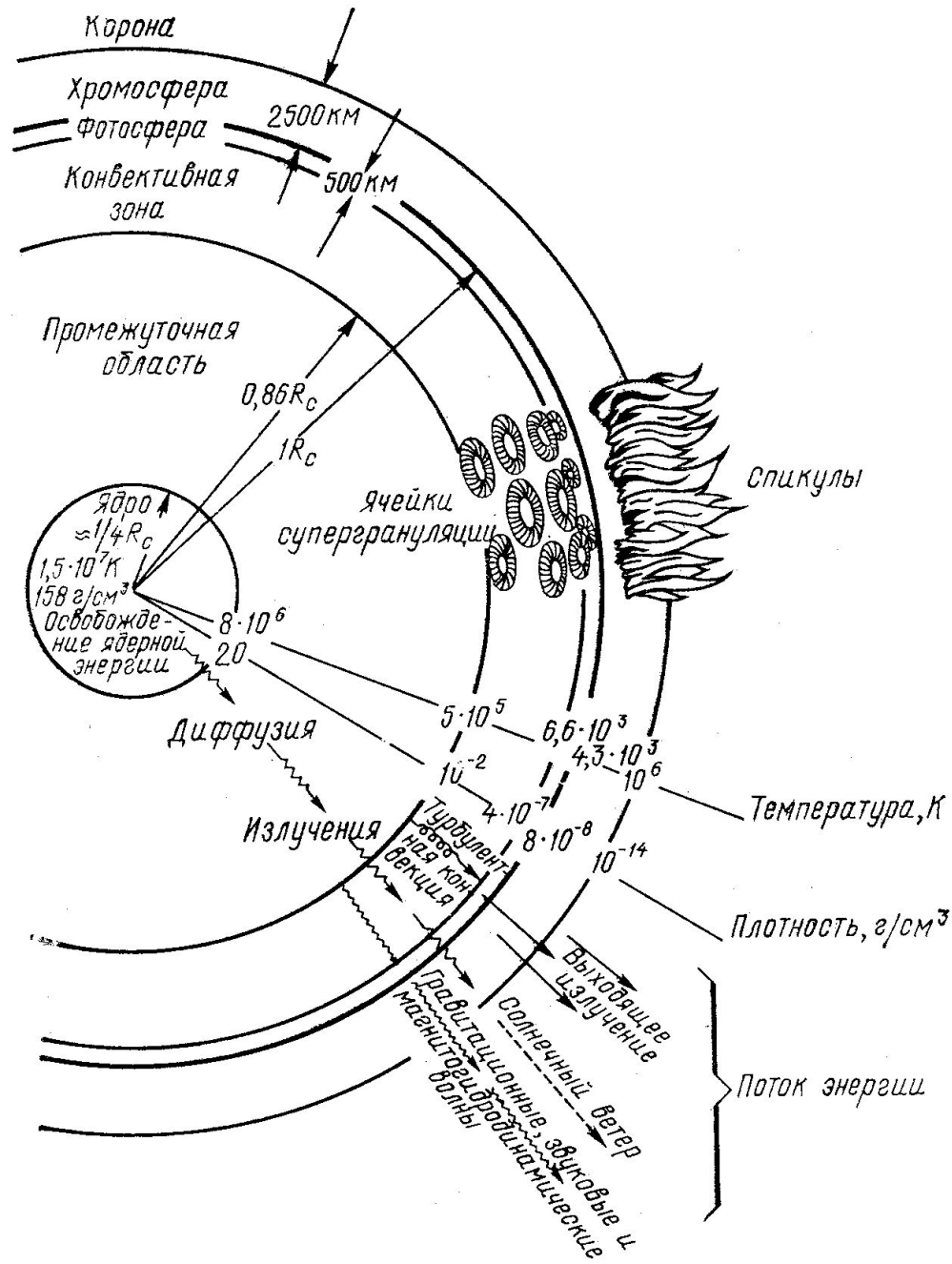
Размер ~ **сотни километров**, образуют цепочки и ажурную сетку. Площадь факельных площадок в несколько раз превышает площадь соответствующей группы пятен.

Образованы **потоками горячей плазмы**, выходящей из глубины Солнца.

Температура факелов выше окружающей среды на **~1000 К**. Обладают сложной структурой, форма которой определяется **конфигурацией магнитного поля**.

Среднее время существования ~ **2 недели**, но может достигать **трёх месяцев**.





# Хромосфера

Толщина ~ **17 000 км** .

Слой, разделяющий фотосферу и хромосферу, имеет **минимум** температуры  **$\approx 4170$  К**.

Плотность убывает при удалении от фотосферы до  **$\sim 10^{-15}$  г/см<sup>3</sup>** (до  **$10^9$  атом/см<sup>3</sup>**).

Верхняя хромосфера весьма **неоднородна**.

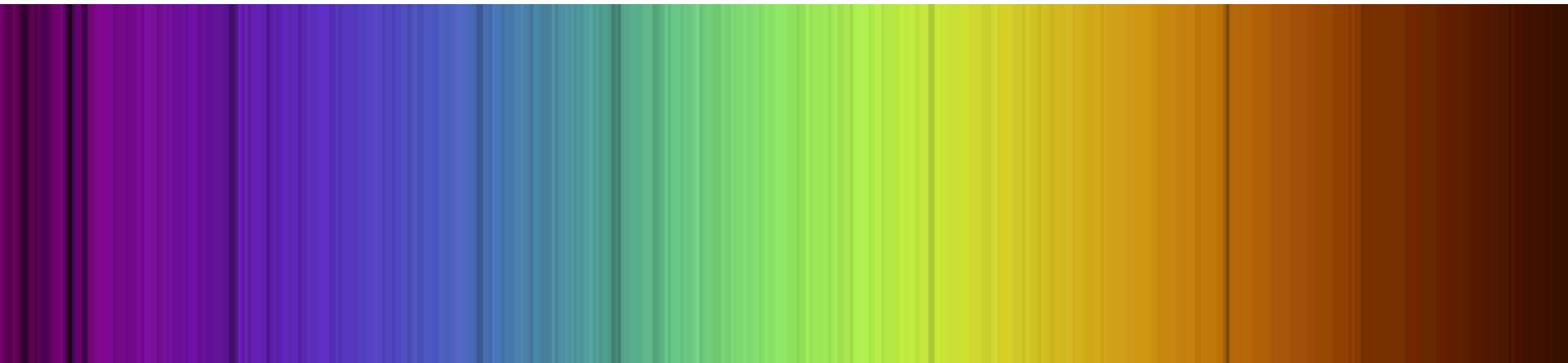
**Температура** хромосферы при увеличении высоты возрастает от **до нескольких десятков тысяч кельвин**.

# Полное солнечное затмение



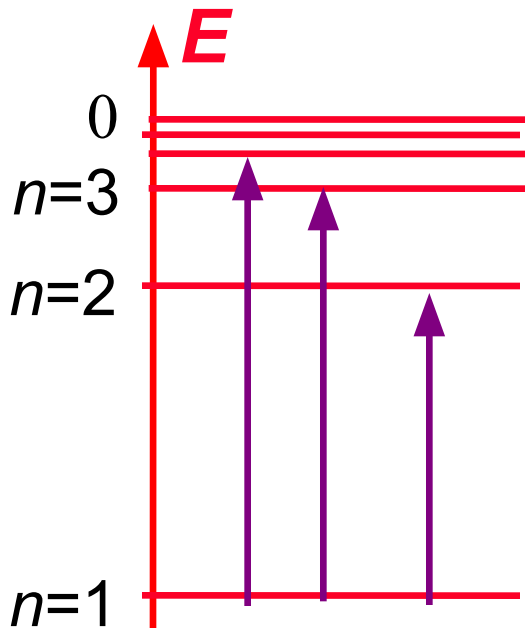
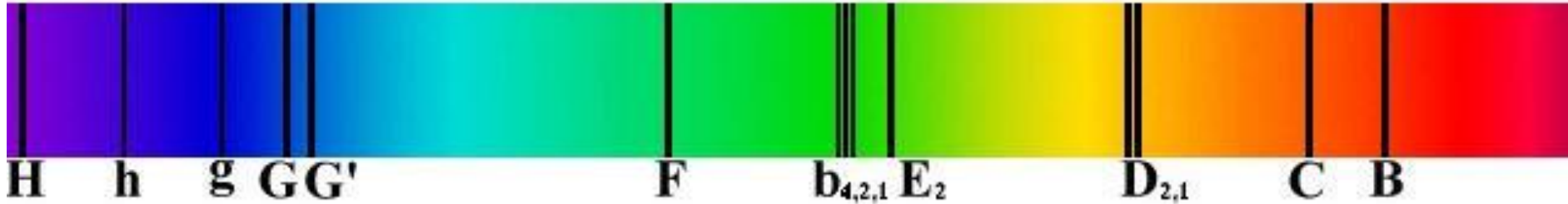
Видна яркая **хромосфера**

# Спектр Солнца

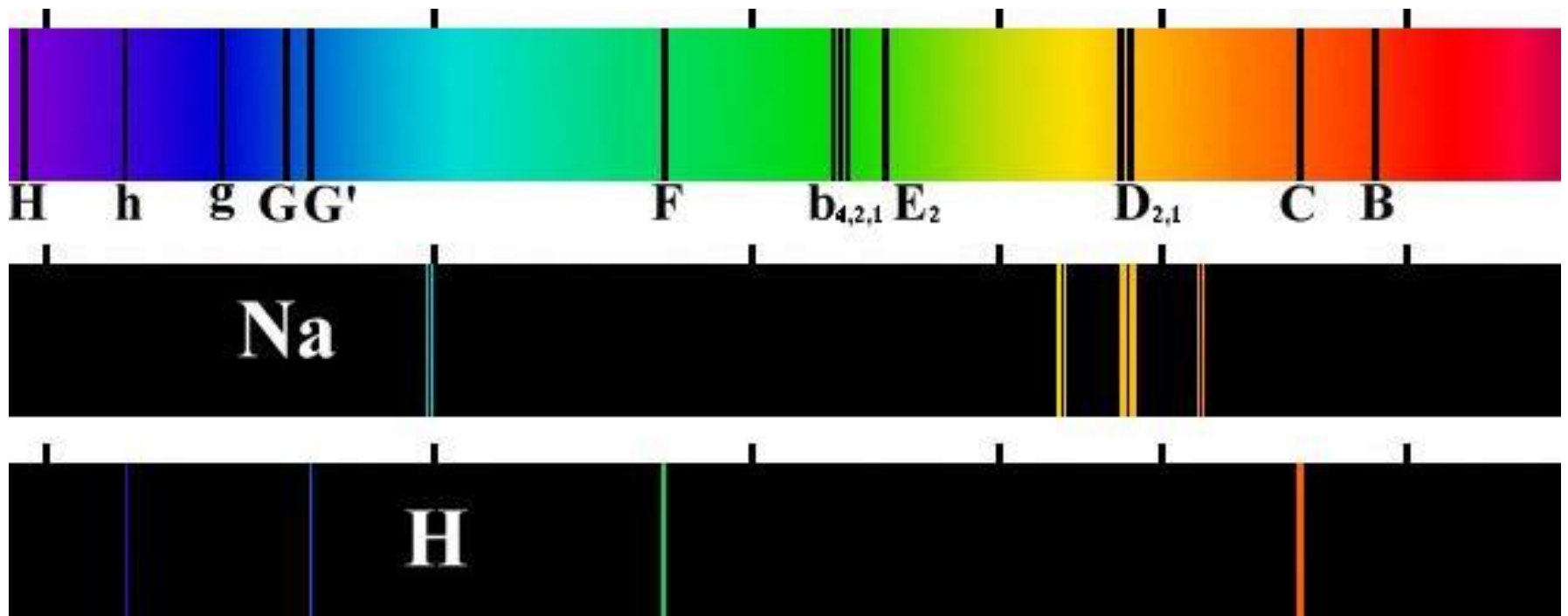


**Спектр** хромосферы содержит огромное количество **ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ**.

# Линии Фраунгофера



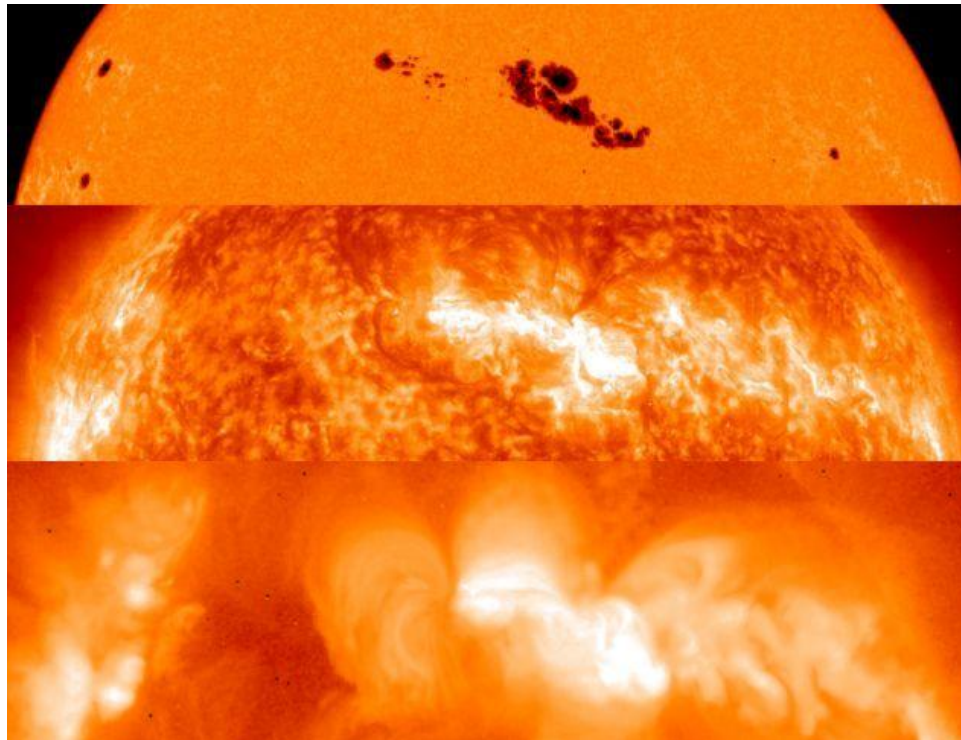
На непрерывный спектр фотосферы накладываются дискретные спектральные линии поглощения **атомов** и **ионов**, находящиеся в нижней части хромосферы.



Спектр Солнца в сравнениями со спектрами излучения **натрия и водорода.**

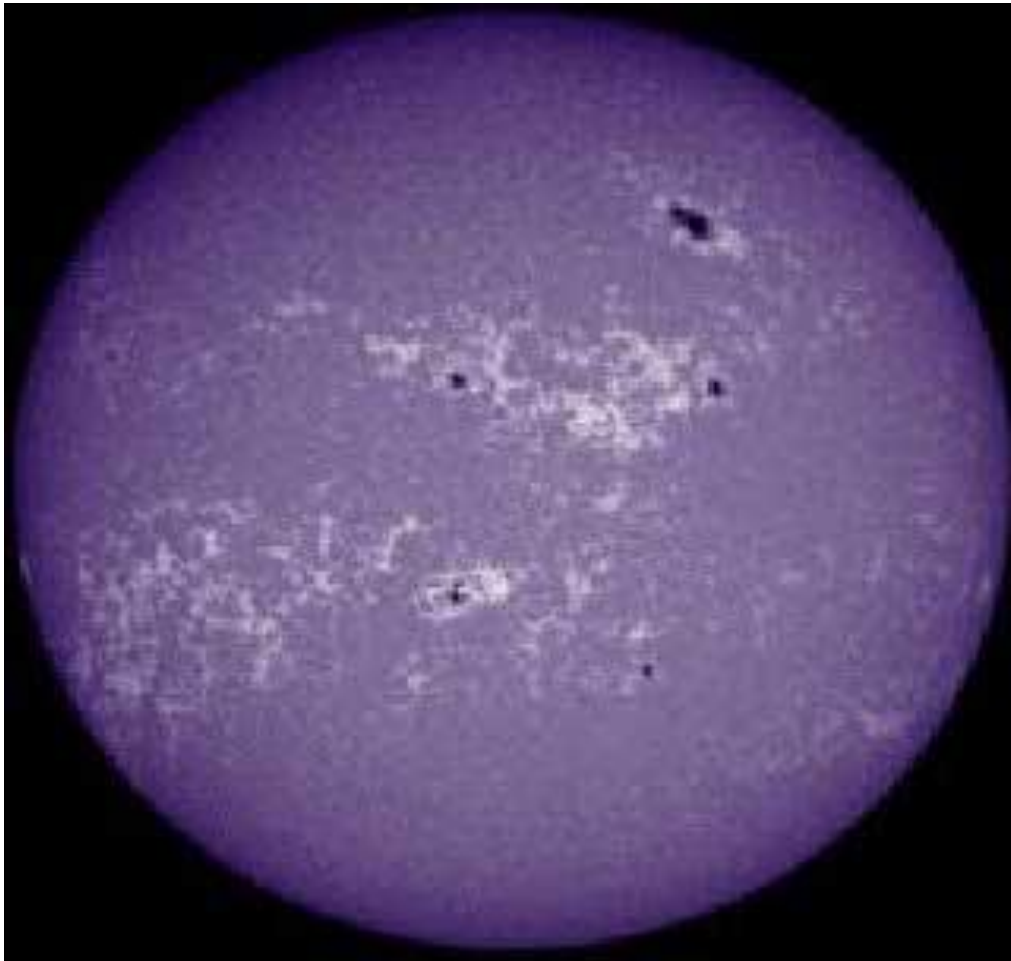
Спектральные линии поглощения позволяют идентифицировать **химические элементы**, входящие в состав Солнца.

Наблюдая Солнце в отдельных спектральных линиях, можно увидеть структуру солнечной атмосферы на разных высотах



# Флоккулы

Над факелами в **хромосфере** формируются **флоккулы**.

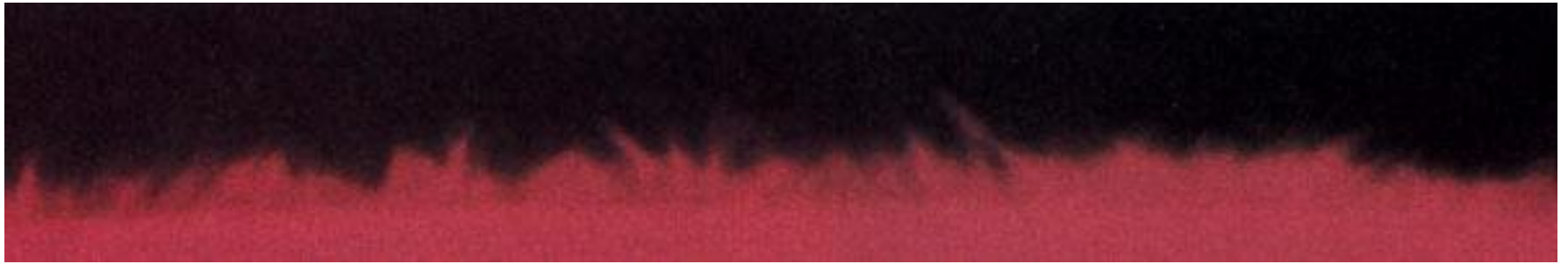


**Флоккулы в  
УФ-диапазоне**



# Спикулы

Являются потоками плазмы, выброшенной из фотосферы со скоростью **20 – 50 км/с** (до **150 км/с**).



Диаметр: **500 – 1500 км**.

Высота: **5000 – 10 000 км**.

Температура: **10 – 20 тысяч К**

Время жизни: **~ 5 – 10 мин**.

Масса **~ 10<sup>6</sup> тонн**.

Общее количество **≈ 10<sup>6</sup>**.

# Корона

Внешняя оболочка Солнца.

Имеет малую **плотность** и слабую **интенсивность излучения**, сравнительно с фотосферой и хромосферой.

Диапазон излучения – **от метрового радиодиапазона до рентгеновского**.

Эффективная температура короны возрастает с высотой до **1 ÷ 2 млн. кельвин**.

Сильная неоднородность плотности и яркости излучения.

**Внутренняя корона** – область внутри радиуса  **$2 R_{\odot}$** .

**Дальняя граница короны** достигает орбиты Земли.

**Плотность** на таком расстоянии ~ **сотен частиц в  $\text{см}^3$** .

Фотография солнечной короны, полученная во время  
полного солнечного затмения



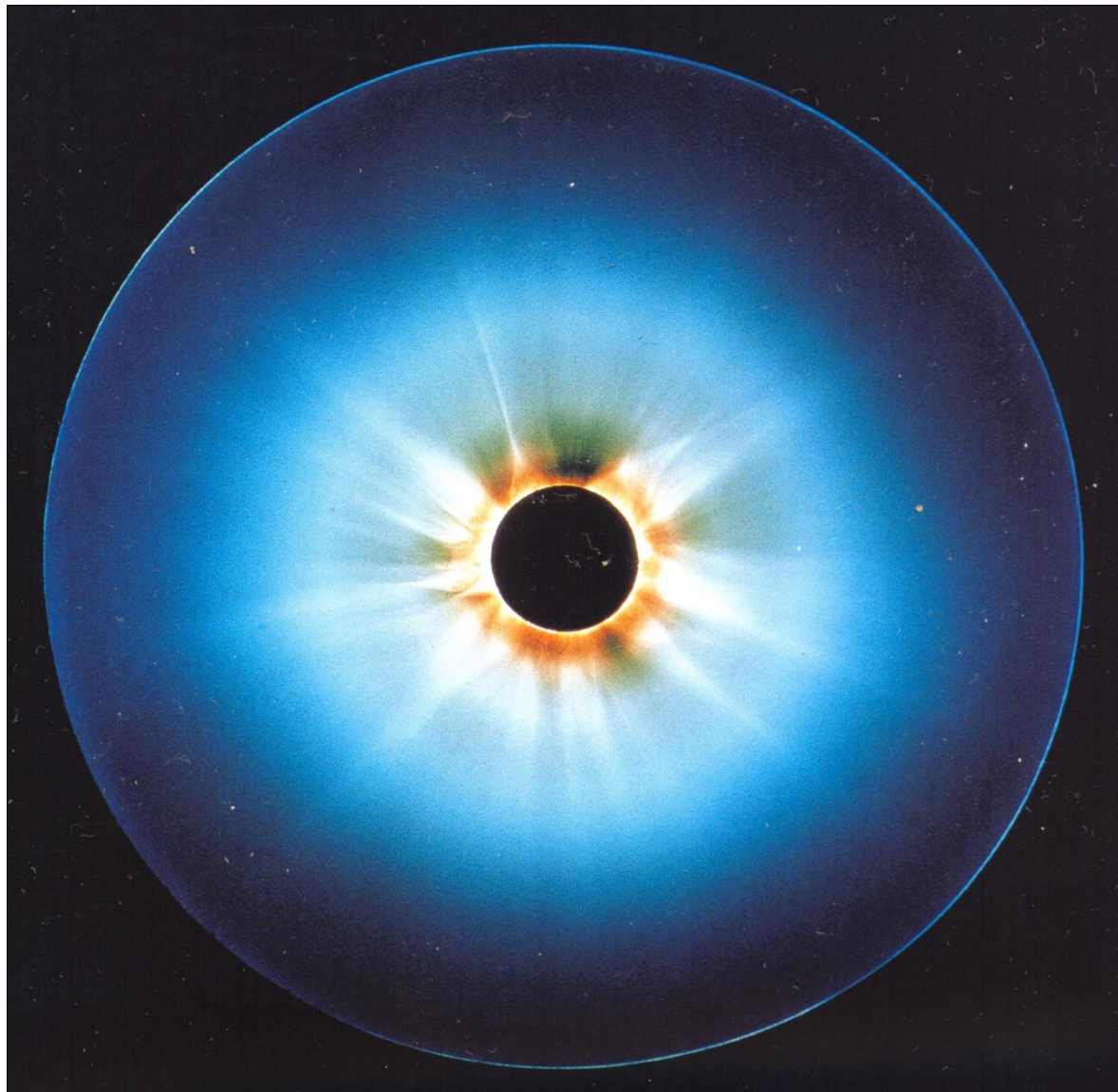
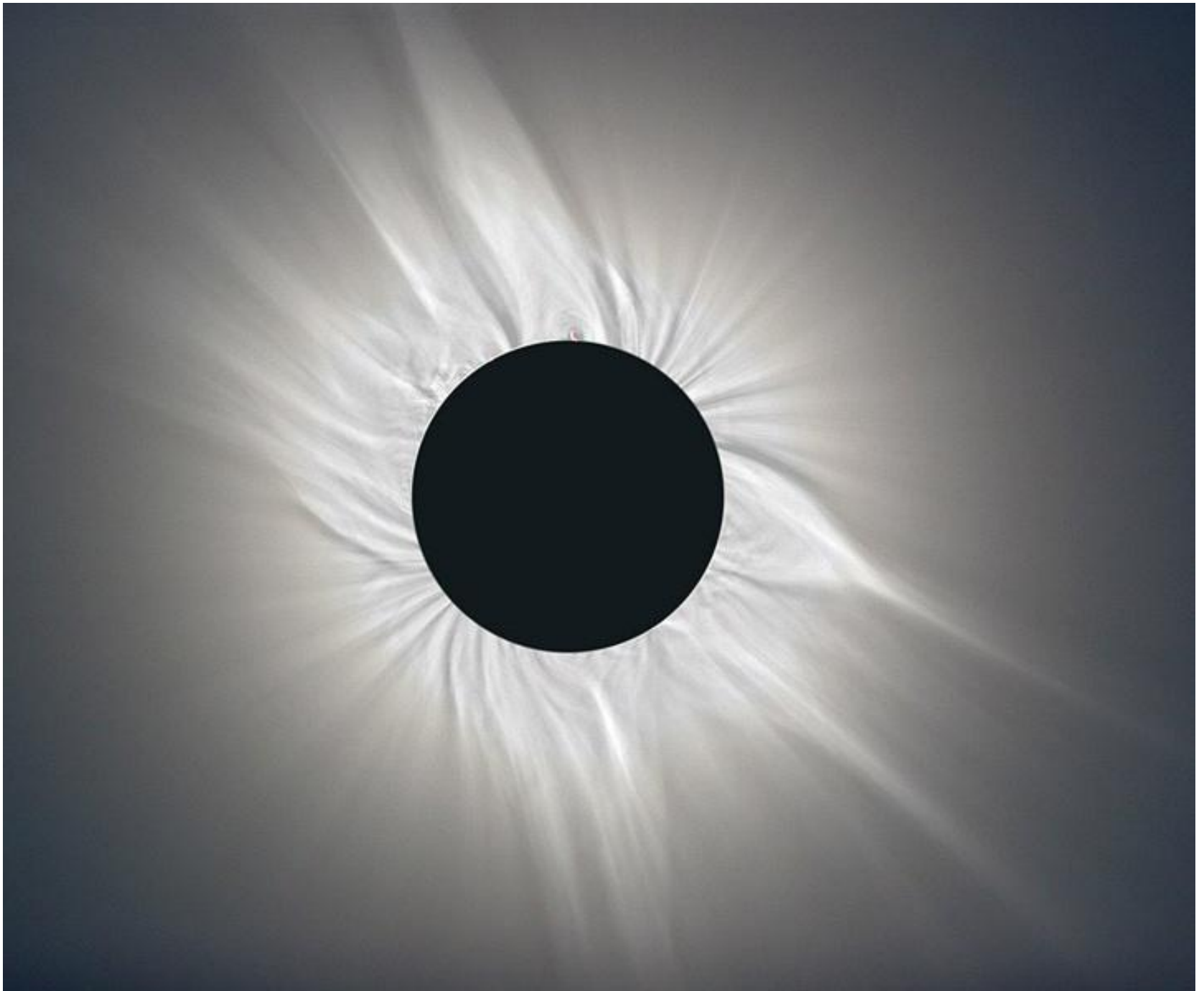


Фото **солнечной короны**, сделанное с помощью  
коронोगрафа



# Ударные волны в хромосфере и короне

Выбросы **плазмы** изнутри Солнца формируют в хромосфере **ударные волны**.

Ударные волны передают свою энергию **ионизированному газу**, что приводит к росту его температуры.

**Верхняя хромосфера и корона полностью ионизированы.**

## **Солнечная активность**

это явления, которые происходят в локальных областях в поверхностных слоях Солнца и отличаются огромным выходом энергии.

Активные области имеют размеры не менее **десятков тысяч километров** и ограниченное время существования.

Активные области захватывают **фотосферу, хромосферу и корону.**

Явления в активных областях сопровождаются **мощным излучением в диапазоне от сотен километров до сотых долей ангстрем, а также выбросом гигантских потоков плазмы.**

**Солнечная активность** меняется **периодически**.

Наиболее изученная форма периодичности солнечной активности – **ежегодное изменение количества наблюдаемых солнечных пятен**, которое описывается **числом Вольфа**

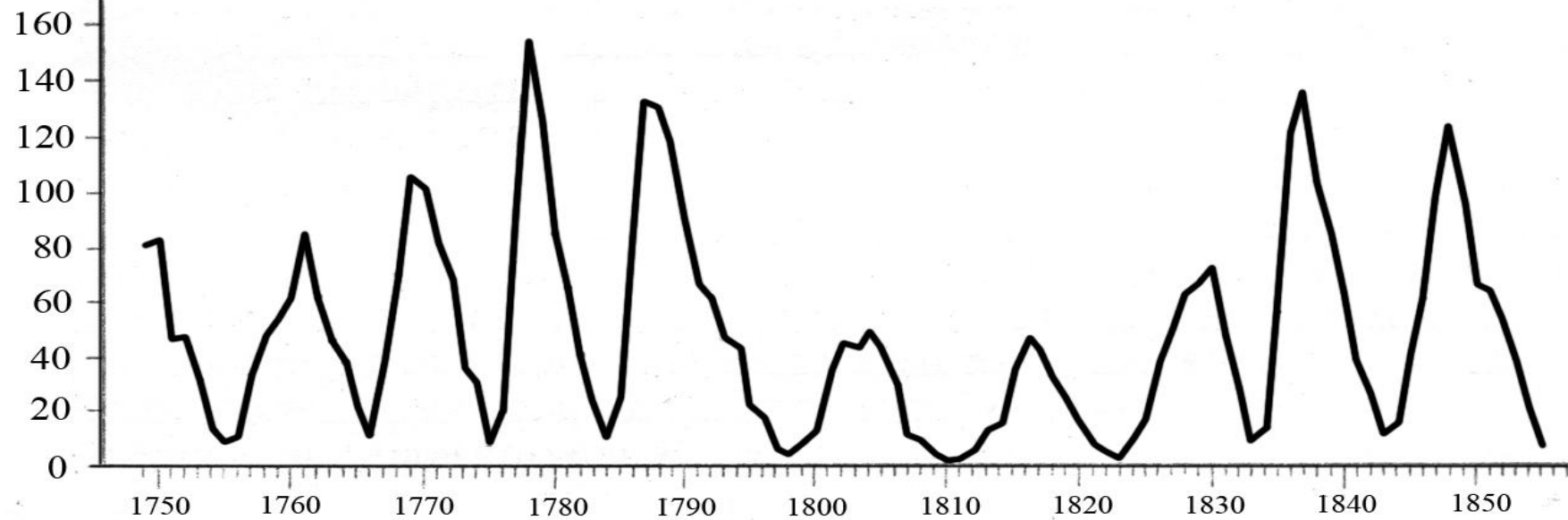
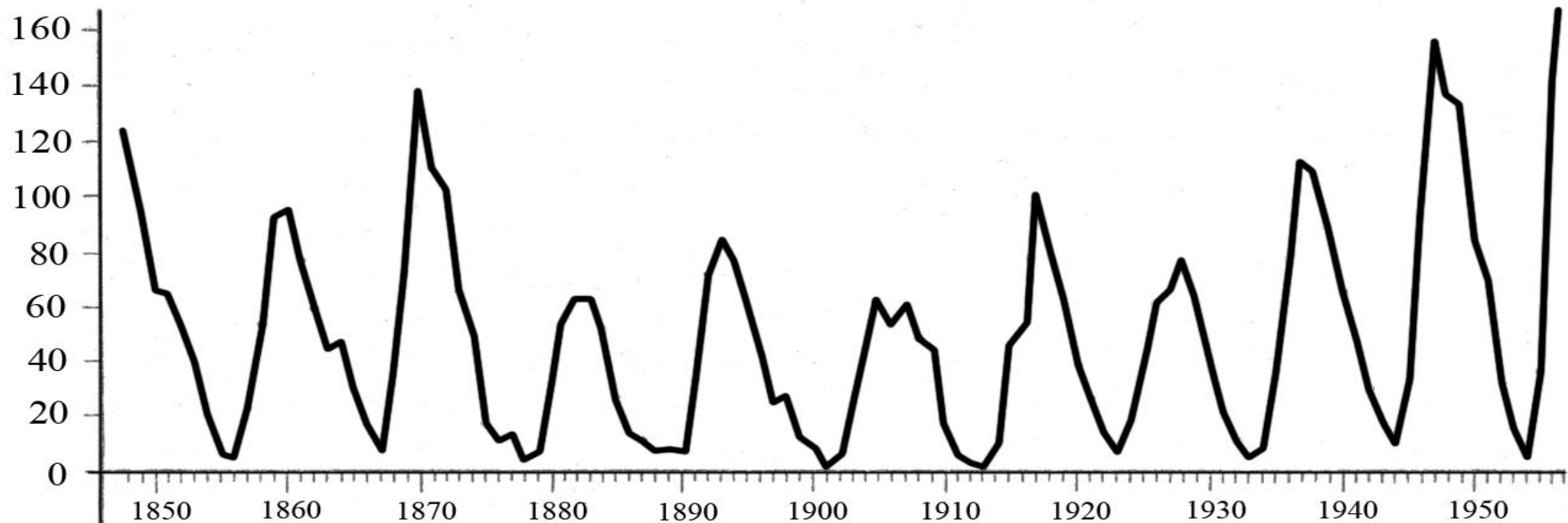
$$W = n_S + 10 n_G$$

$n_S$  – количество солнечных пятен,

$n_G$  – количество групп пятен



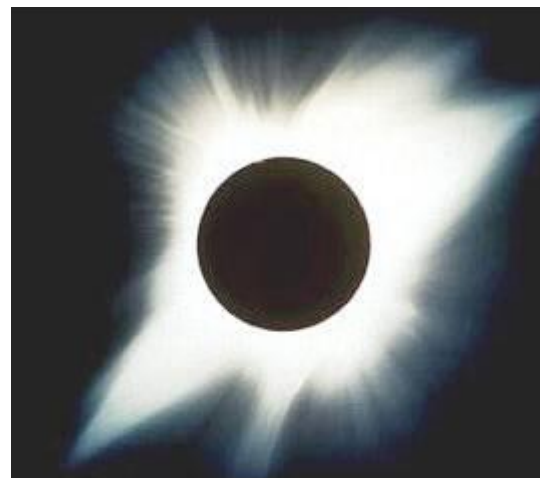
# Ежегодные значения числа Вольфа



Максимум солнечной активности



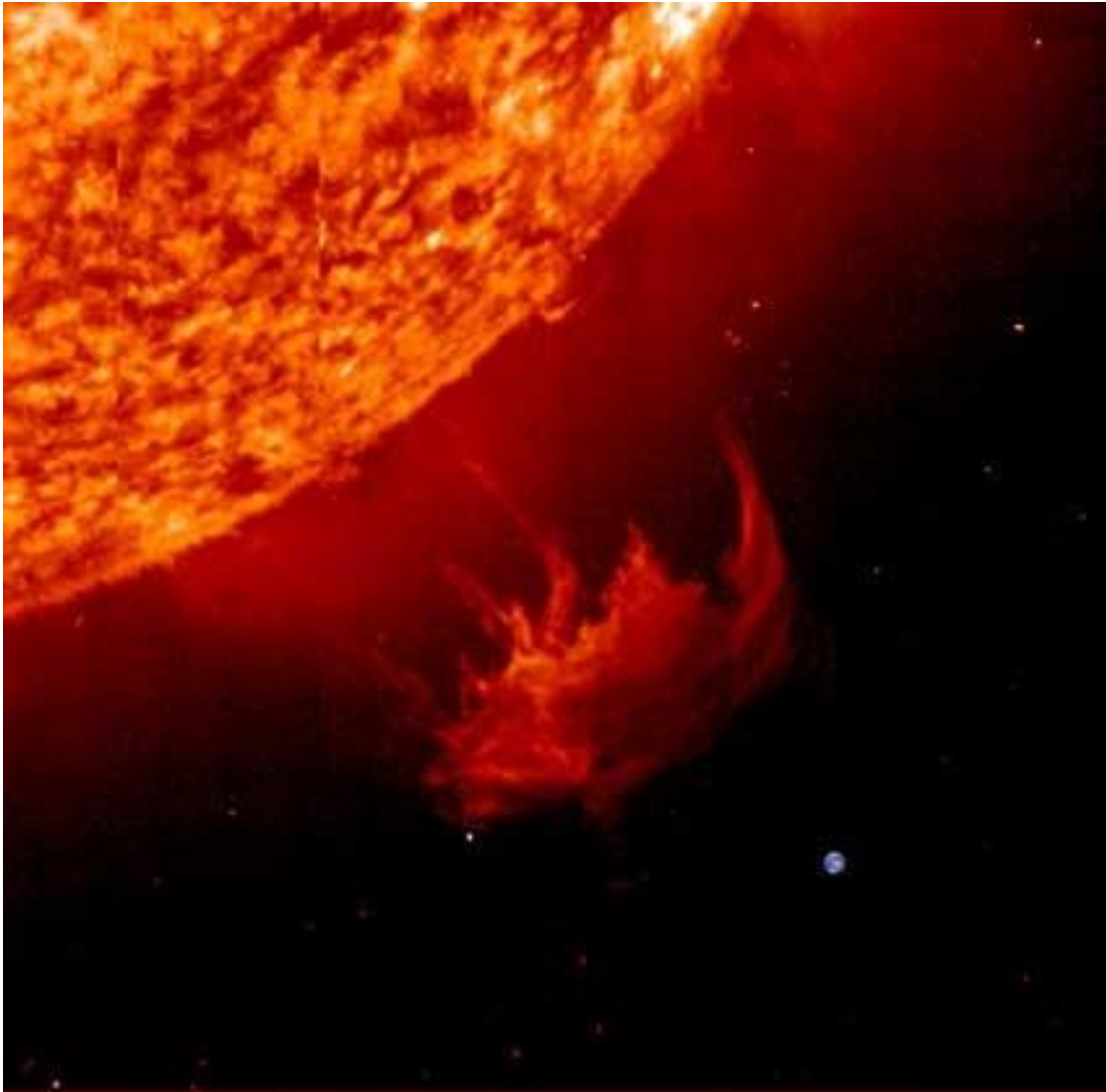
Минимум солнечной активности



Вид внутренней  
солнечной короны  
в различные фазы  
солнечной  
активности

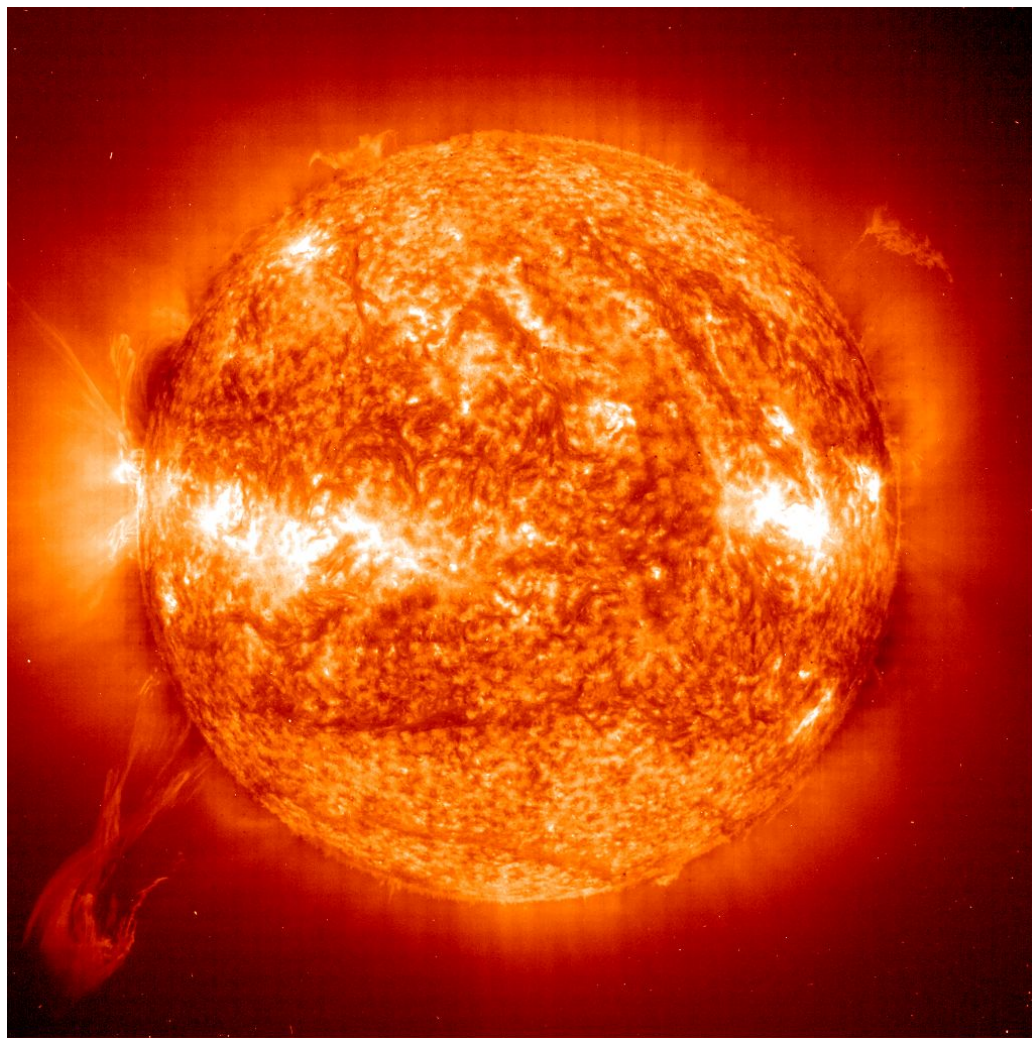
# Протуберанцы

Гигантские выбросы плазмы над диском фотосферы.



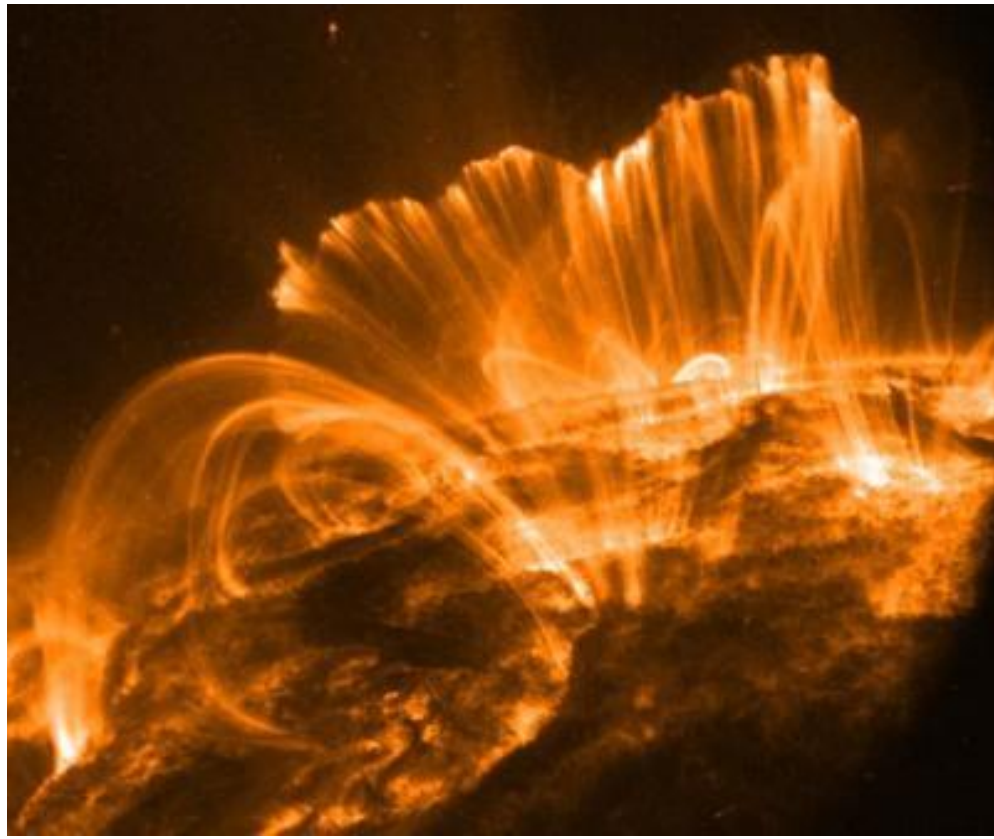
Справа внизу  
для сравнения  
– Земной шар

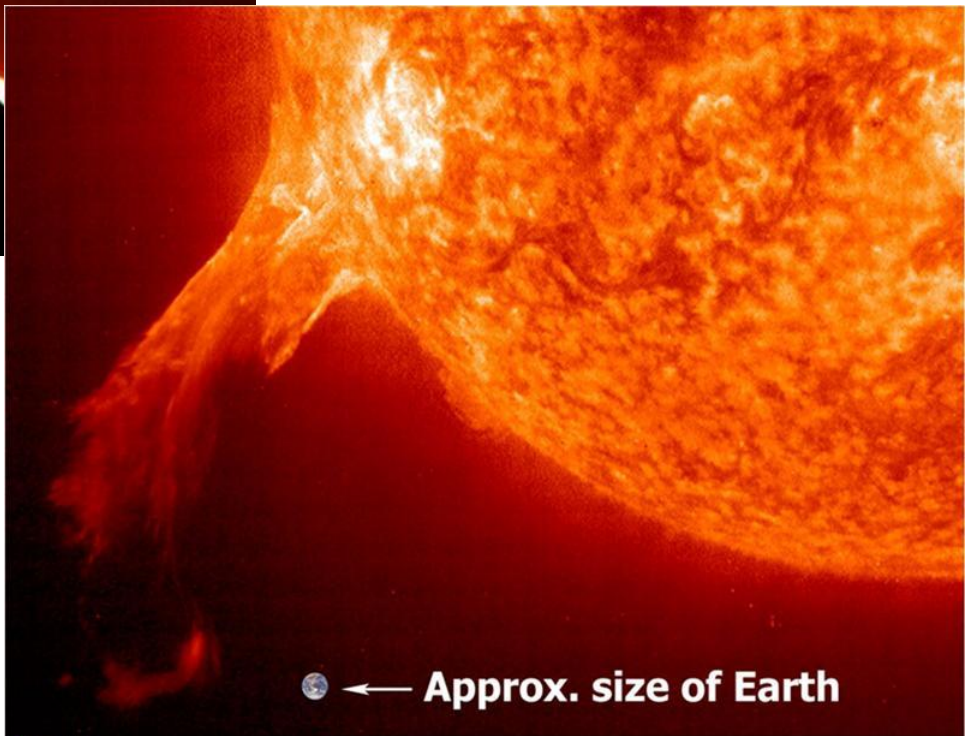
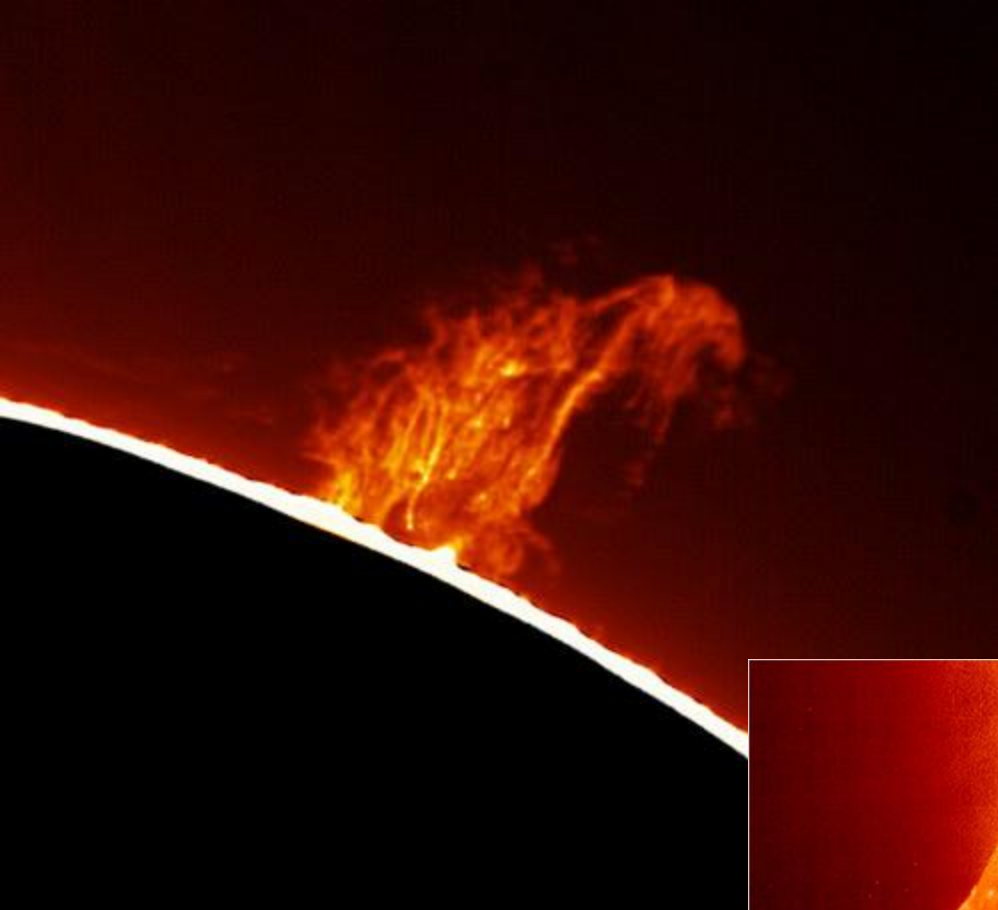
# Солнце в ультрафиолетовом диапазоне




Светлые пятна – области повышенной мощности излучения.  
Внизу слева – гигантский **протуберанец**.

**Протуберанцы** поражают размерами и разнообразием форм (дерево, дуга, живая изгородь, холм, фонтан, колпачок, торнадо, петля, ствол дерева и т.д.).





←  **Approx. size of Earth**

# Спокойные протуберанцы

Выглядят как листы, расположенные перпендикулярно поверхности фотосферы, как система арок или «деревьев».

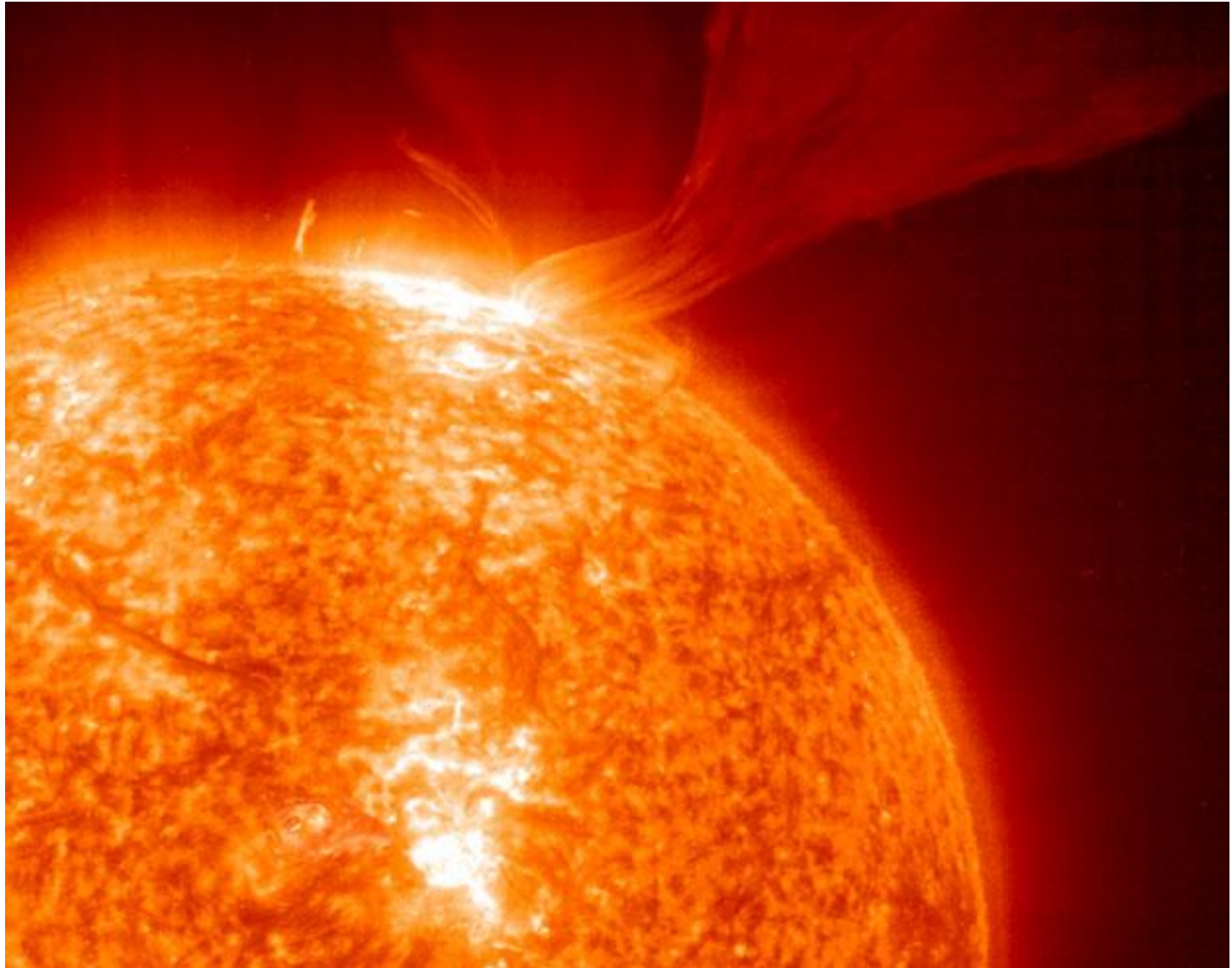
В среднем они имеют **длину 60 000 – 600 000 км, высоту 15 000 – 100 000 км, толщину 4000 – 15000 км.**

Спокойные протуберанцы обладают **магнитным полем ~ 40 гс.**

Имеют неоднородную структуру с множеством волокон диаметром **~1000 км**, где плазма находится в быстром движении.

Время жизни **несколько месяцев** (иногда **больше года**).

Спокойные протуберанцы исчезают, постепенно рассасываясь или стекая в хромосферу.





# Активные протуберанцы

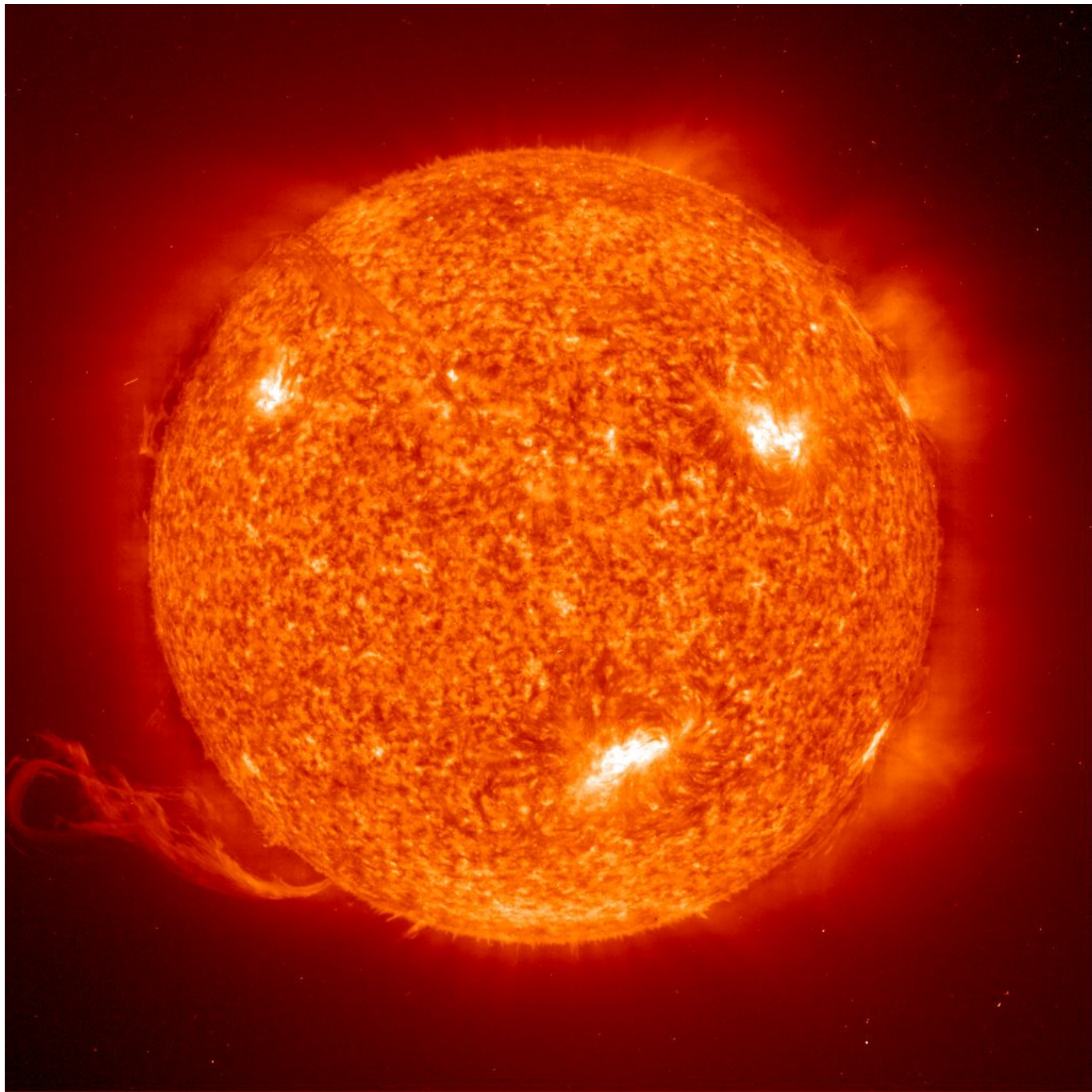
Существуют не более **нескольких часов** и обладают магнитным полем **~100 гс**.

Типичная форма: **петля**.

Характерно движение переплетающихся струй и узелков с ускорением в некоторых областях до **скорости плазмы 10 – 100 км/час**.

Движение плазмы происходит вдоль линий **магнитного поля**.





# Эруптивные протуберанцы

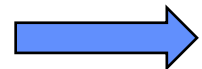
Характерны беспорядочными движениями и неустойчивостью.

Время жизни – **несколько минут.**

Скорость плазмы в составляет **100 – 300 км/сек.**

Поднимаются на высоту **100 000 – 500 000 км**, иногда до **1,5 млн. км.**

Иногда скорость выброса плазмы превышает **параболическую** и солнечное вещество **удаляется в пространство.**



# Солнечные вспышки



**Солнечная вспышка** начинается с быстрого возрастания температуры нижней короны до **40 млн.кельвин.**

ЭМ-излучение в широком диапазоне.

Коротковолновая граница: **от 1 Å до 0,02 Å.**

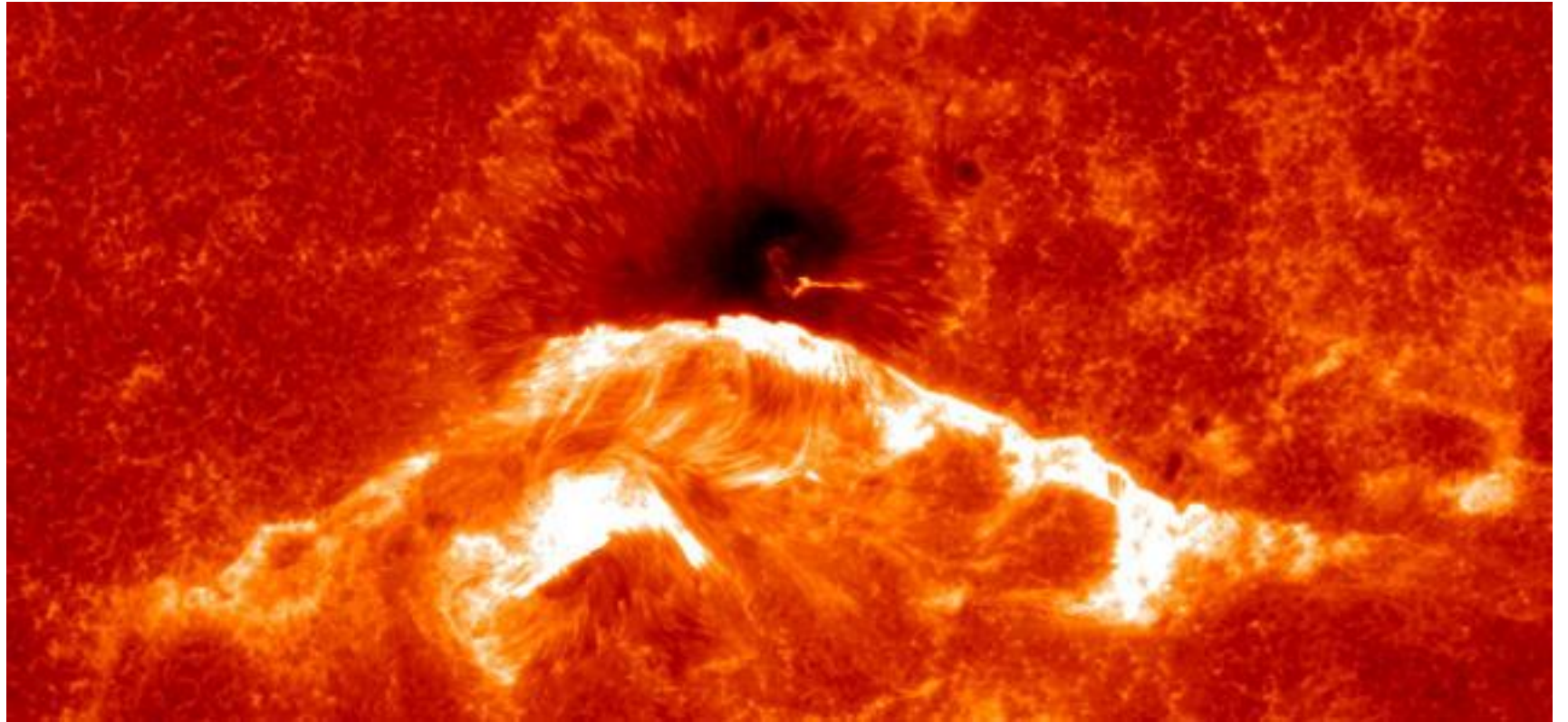
Длинноволновая граница – **несколько километров.**

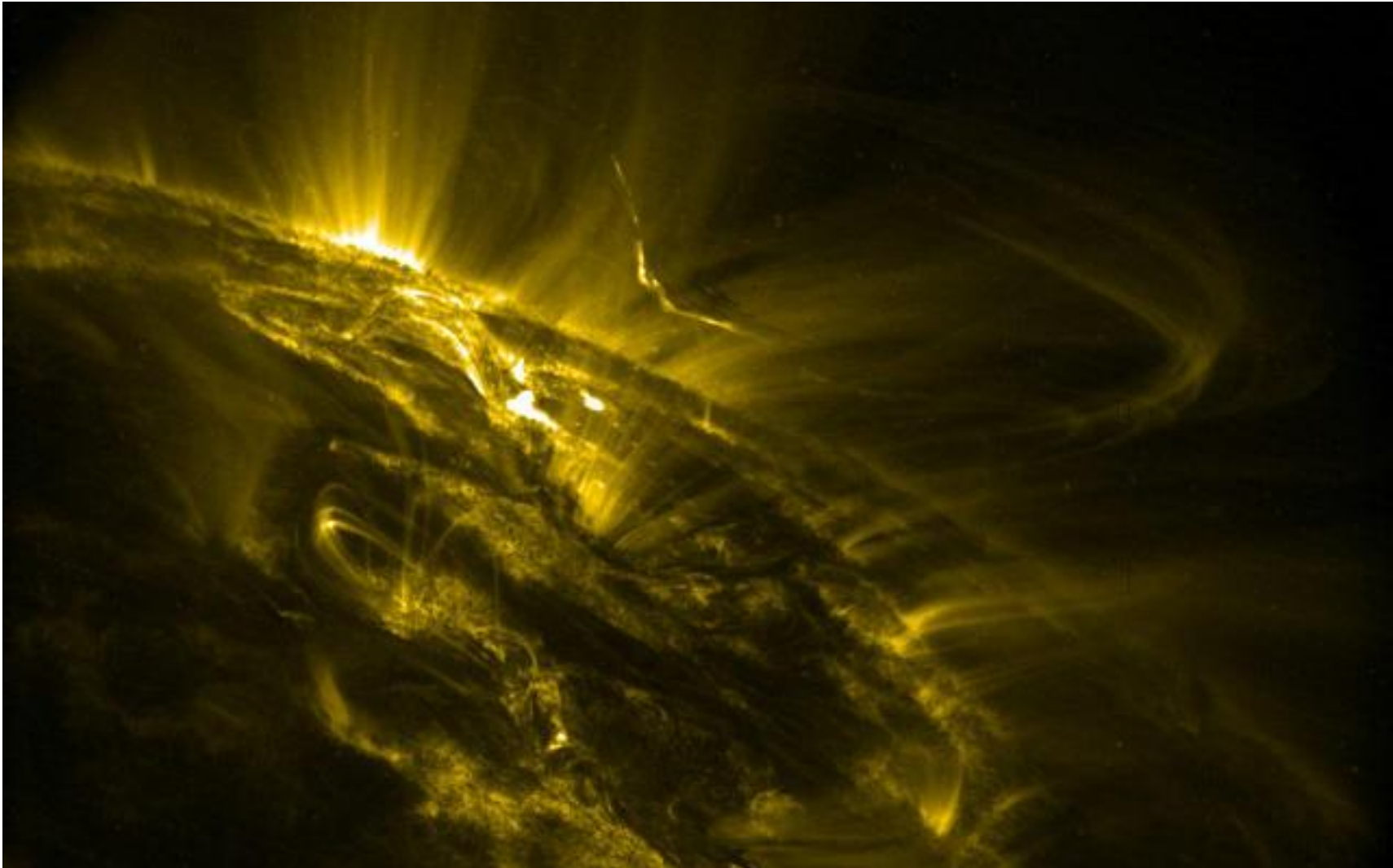
Во внешнюю корону выбрасывается плазма со скоростью до **400 км/с.**

Площадь вспышки  $\sim 10^8 \div 10^{10} \text{ км}^2$ .

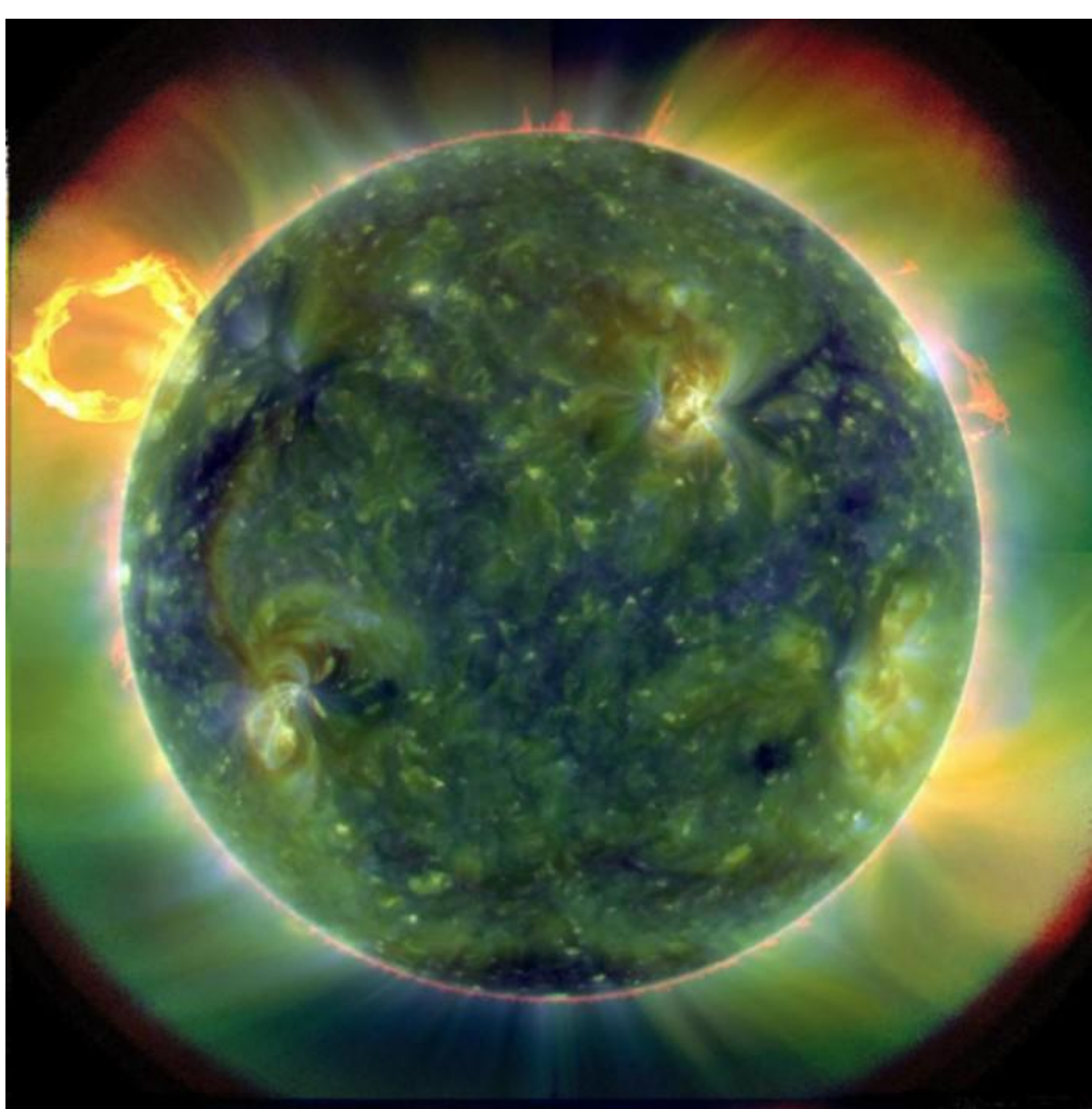
Времена развития **от десятка минут до трех часов.**

Общая энергия  $10^{22} \div 10^{25} \text{ Дж.}$









Солнце в  
УФ-  
диапазоне.

Красный  
цвет –  
60000 К,  
зеленый –  
 $10^6$  К.

# Солнечный ветер

Поток **водородно-гелиевой плазмы**, истекающий из солнечной короны в окружающее пространство со скоростью **300—1200 км/с**.

Около **миллиона тонн** вещества в **секунду**.

Причины: большие **градиенты температуры и плотности** вещества короны.

Распространение ударных волн приводит к **ускорению частиц плазмы**.

Средняя плотность **солнечного ветра** на расстоянии **1 а.е.**  **$\sim 10^8$  част/см<sup>2</sup>/сек.**

Во время **высокой активности** Солнца плотность **потока** возрастает солнечного ветра на **2 порядка**.

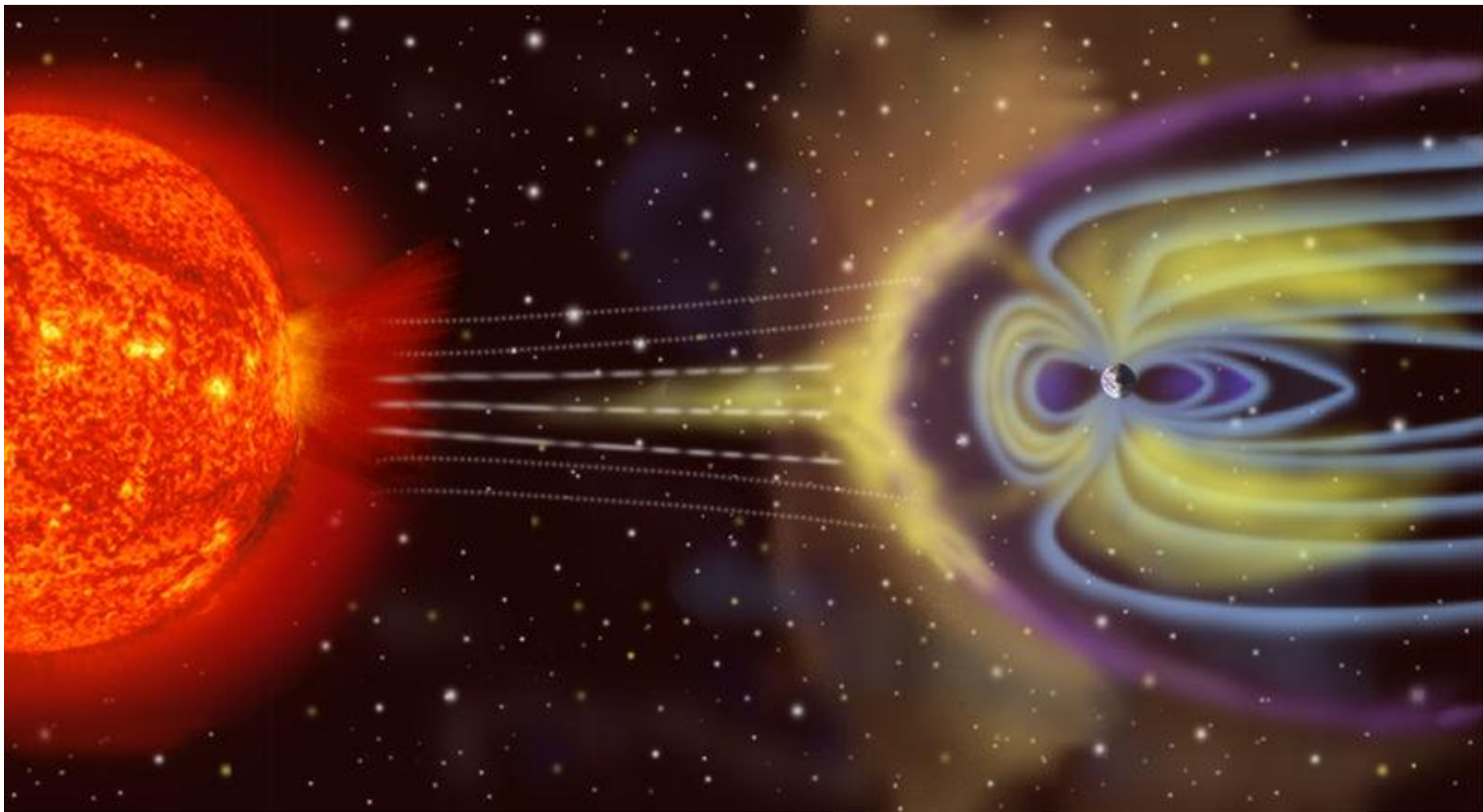


Схема взаимодействия солнечного ветра  
с магнитосферой Земли

**Электронная составляющая солнечного ветра,**  
взаимодействуя с магнитосферой Земли, вызывает  
**полярные сияния.**

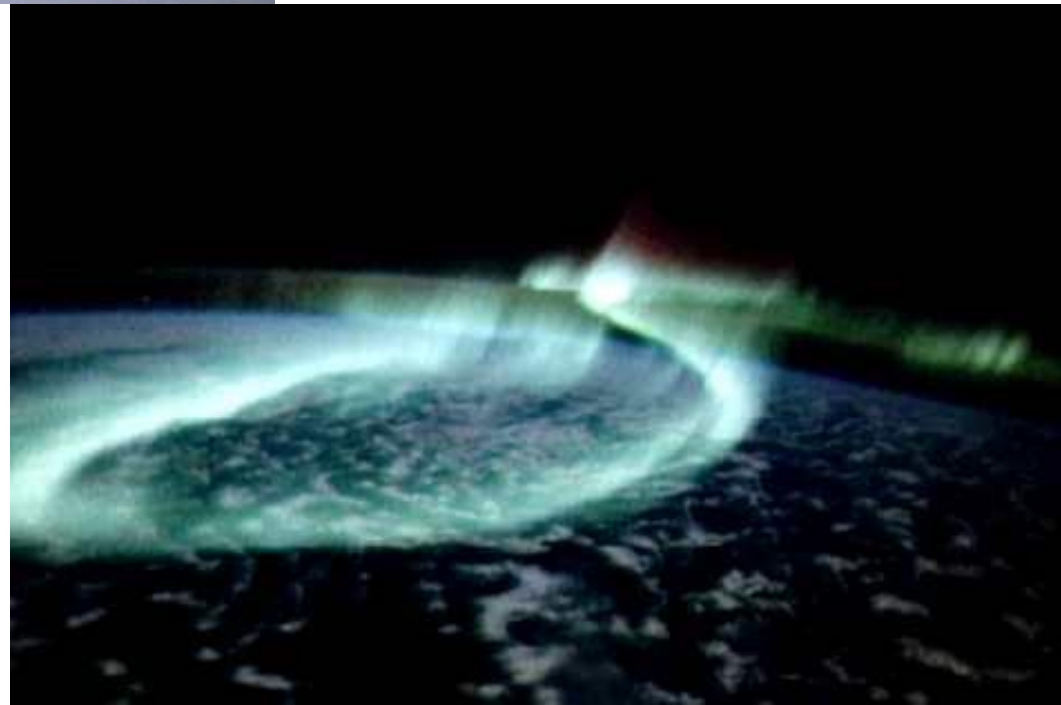


**Электроны** возбуждают атомы **азота** и **кислорода**.  
Снятие возбуждения происходит путем испускания  
**оптических фотонов**



**Полярное сияние  
на Аляске**

**Полярное сияние.  
Вид со спутника Земли**



# Солнце – источник жизни на Земле

Солнце нагревает Земной шар до **температуры**, благоприятной для **жизни** растений, животных и людей.

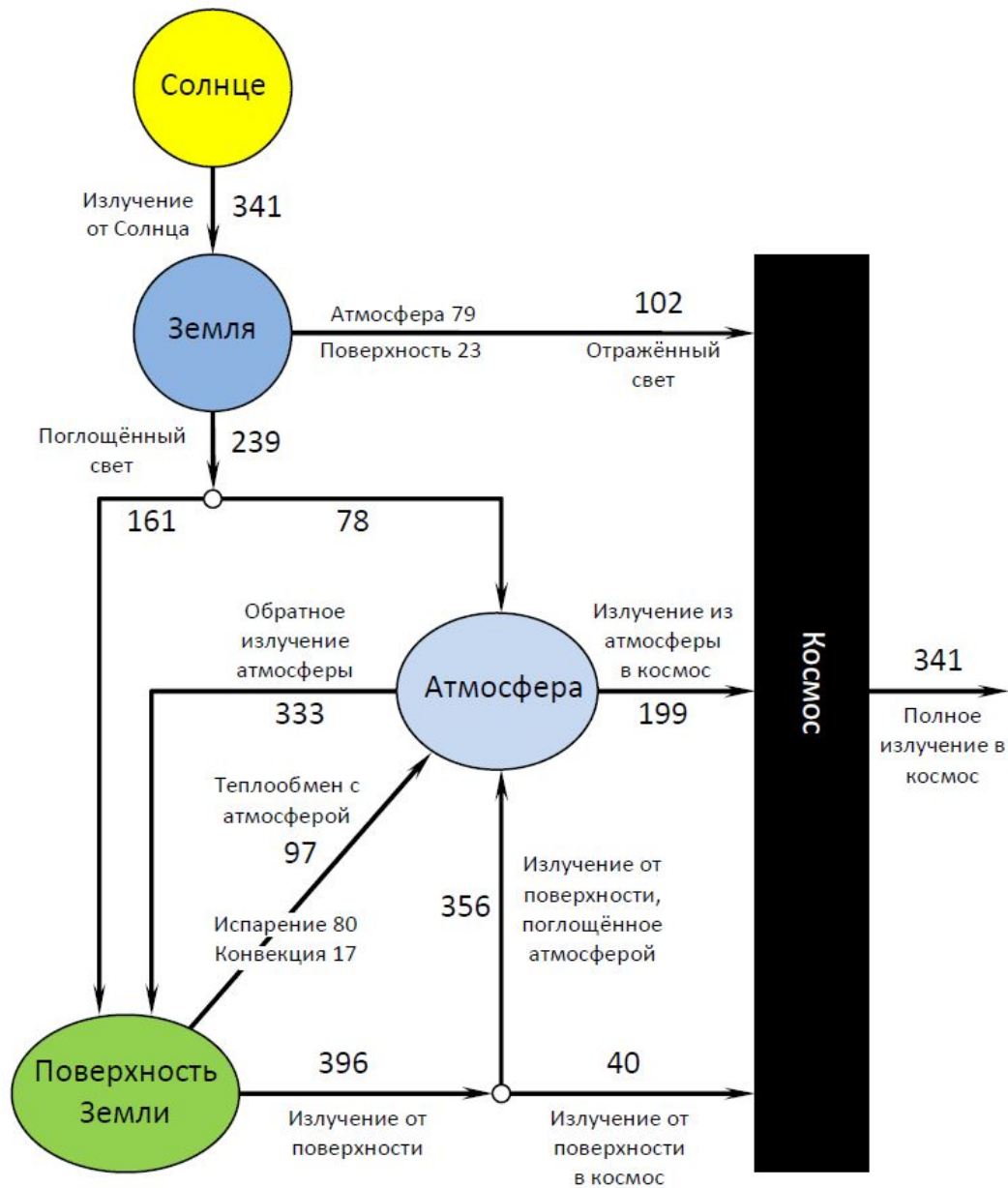
Процесс **фотосинтеза** является основой растительного мира, который обеспечивает существование животного мира, в т.ч. **человечества**.

Остатки растений образовали **каменный уголь, нефть и природный газ**, став основой современной **энергетики**.

**Ветер** (источник ветроэнергетики) возникает из-за неравномерного нагрева земной атмосферы **излучением Солнца**.

.....



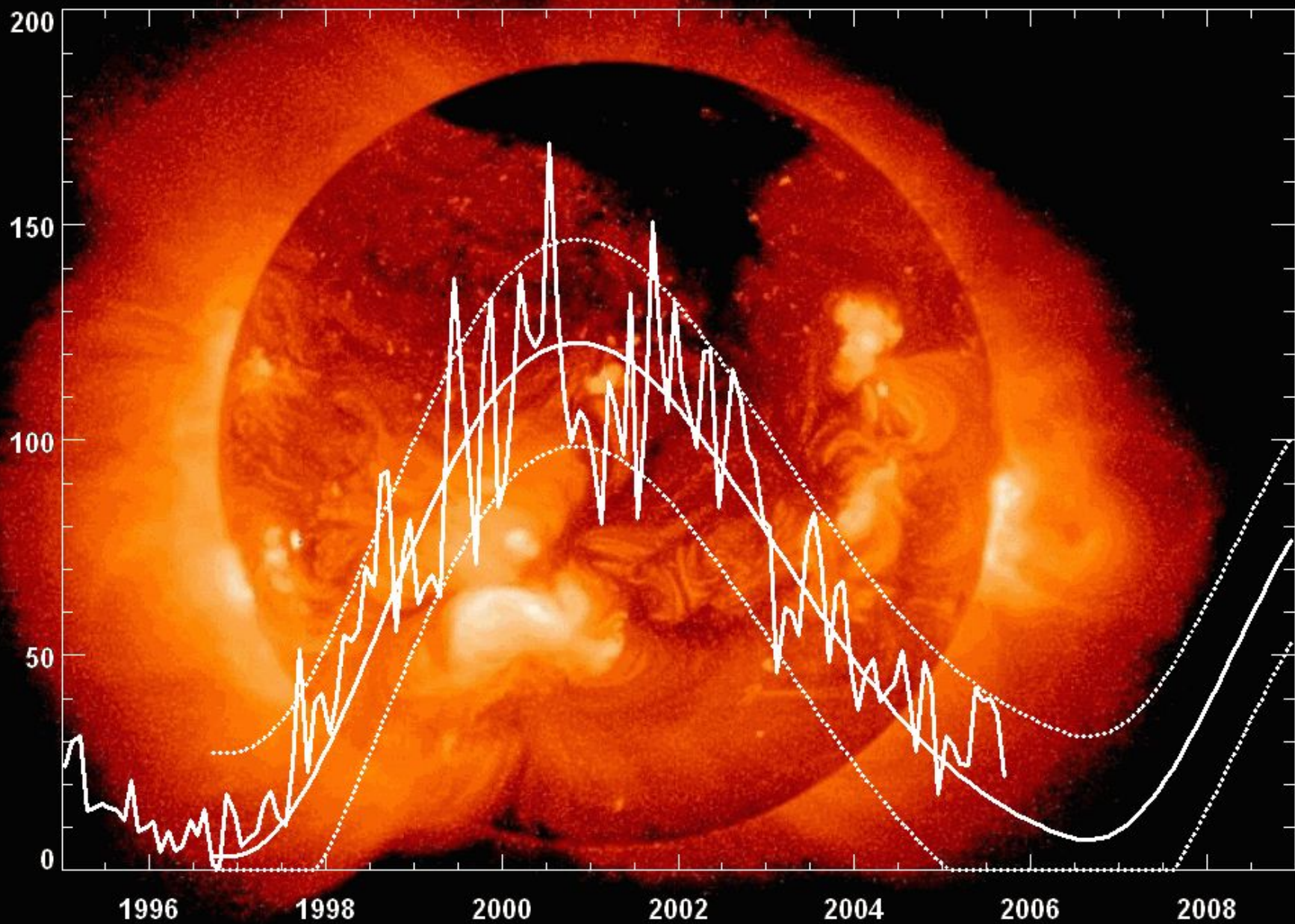


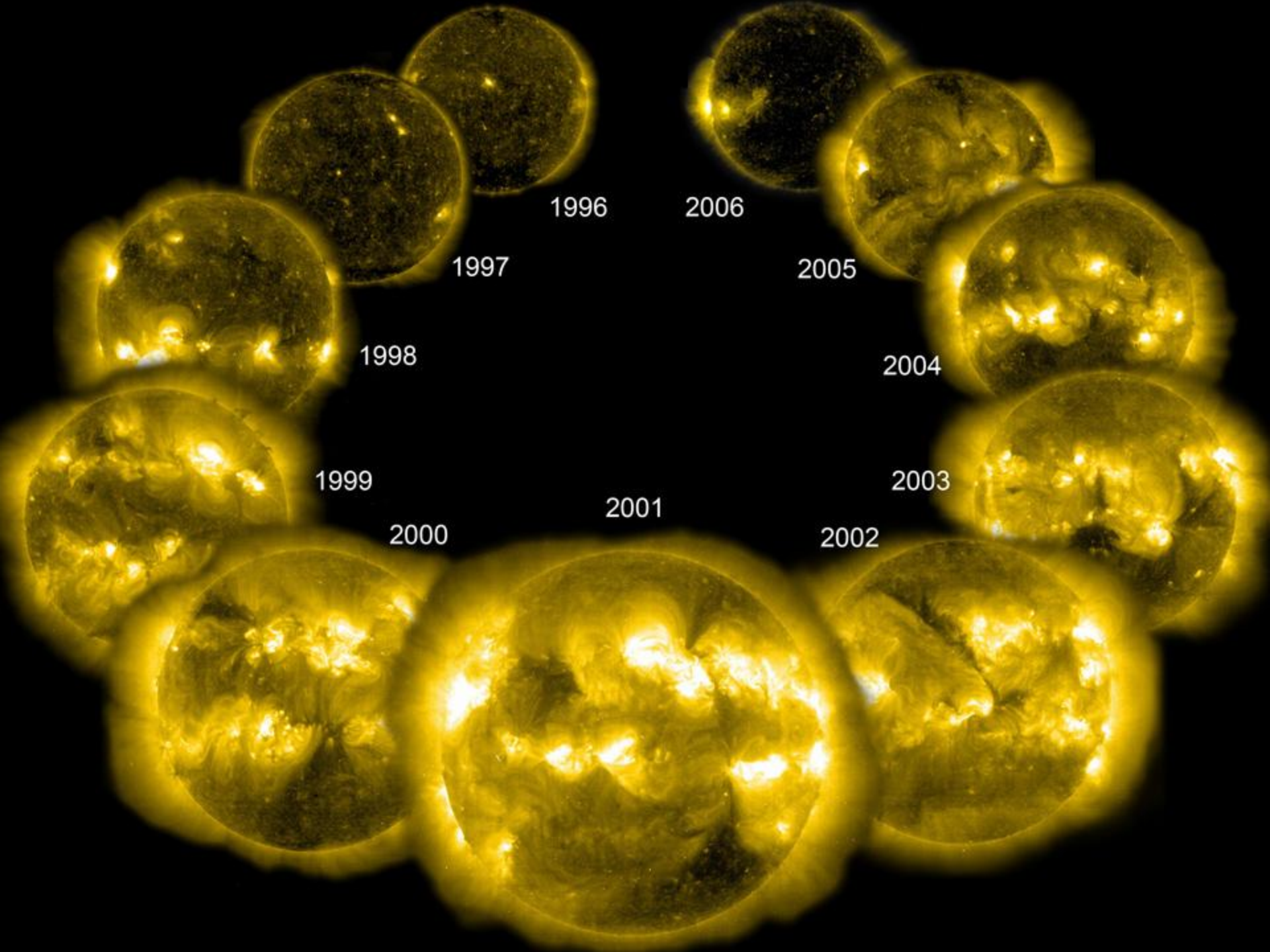
### Тепловой баланс Земли (март 2000 – май 2004)

Все тепловые потоки в  $W/m^2$ , усреднённые по времени и по поверхности Земли  
 Источник: Trenberth K. T., Fasullo J., Kiehl J. T., 2009: Earth's global energy budget.  
 — *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **90**, 311–323.



# Cycle 23 Sunspot Number Prediction (October 2005)





1996

2006

1997

2005

1998

2004

1999

2003

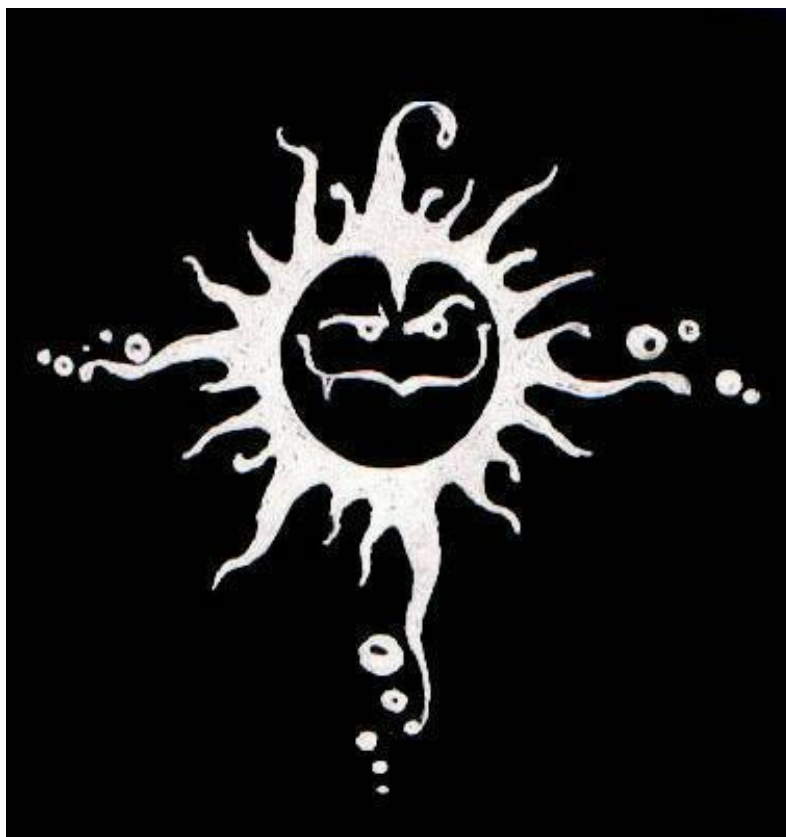
2000

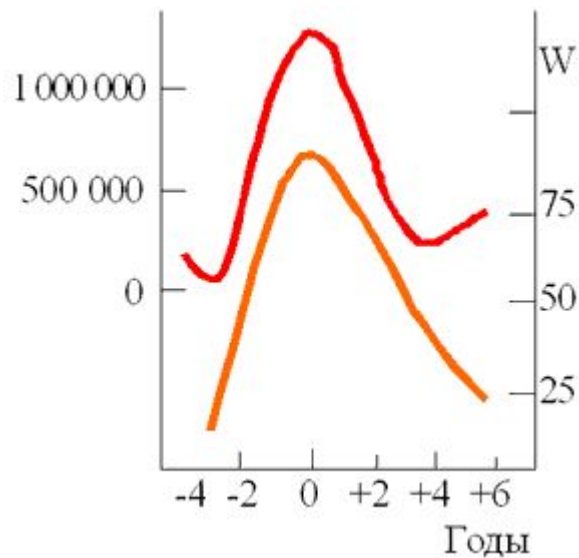
2001

2002

# Минздрав предупреждает:

Повышенная солнечная активность опасна  
для человеческого здоровья





## Циклы солнечной активности

