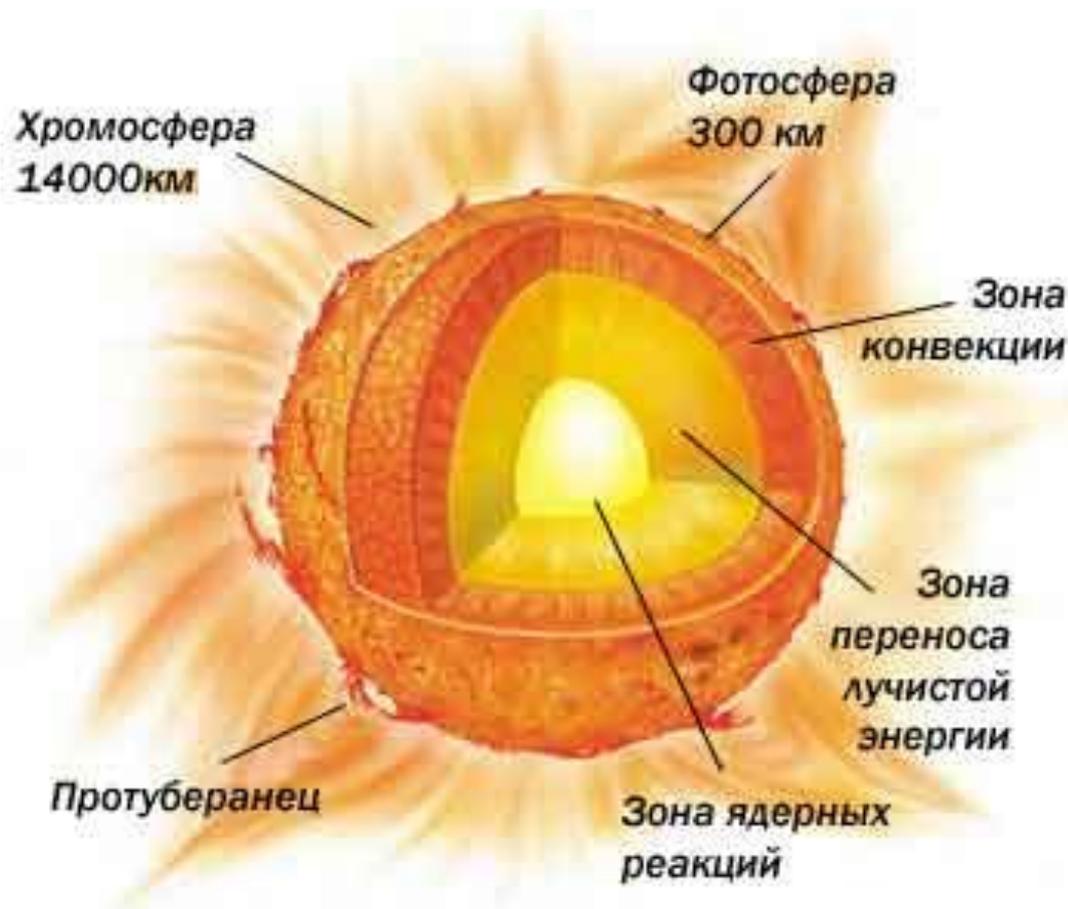
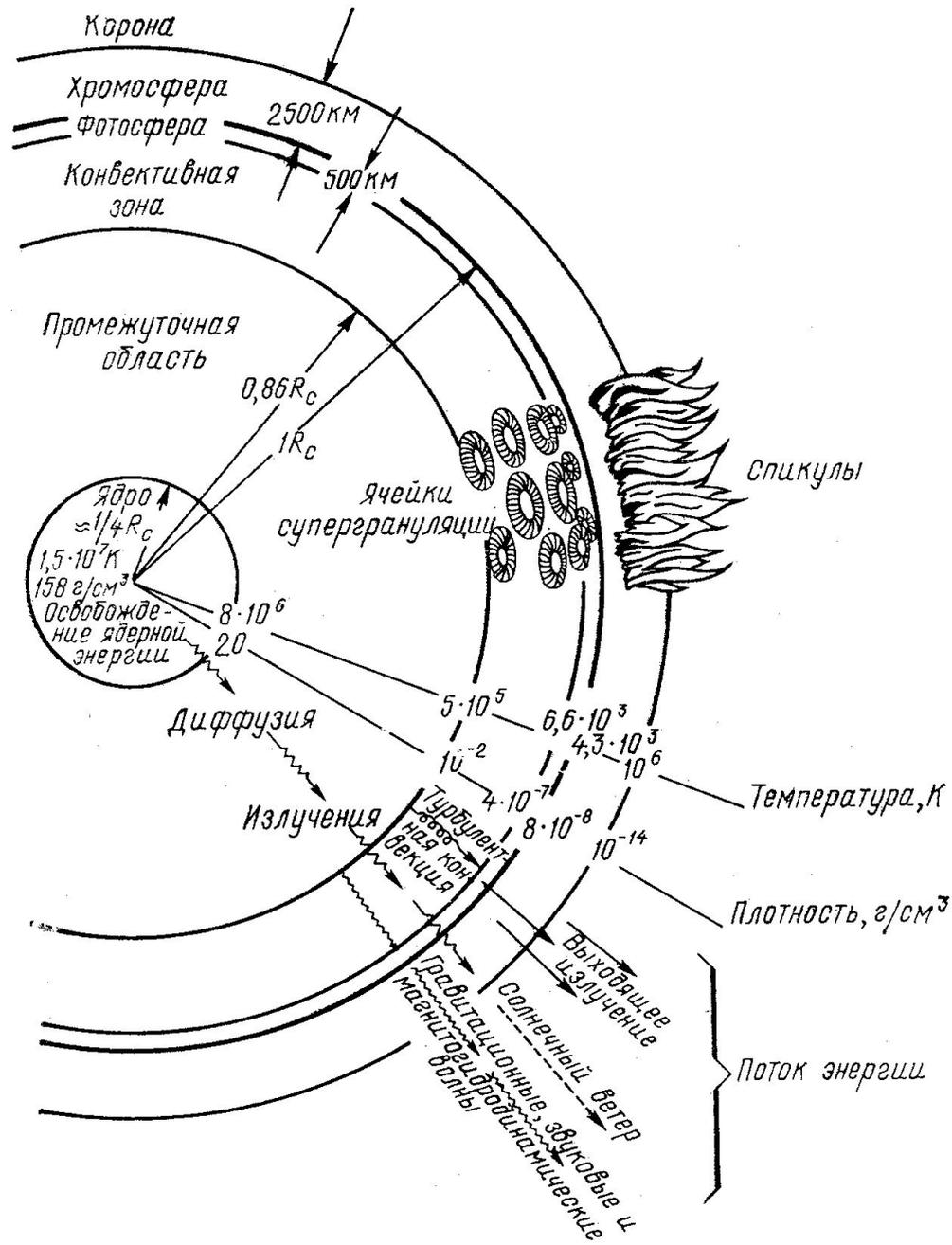


Атмосфера Солнца и солнечная активность

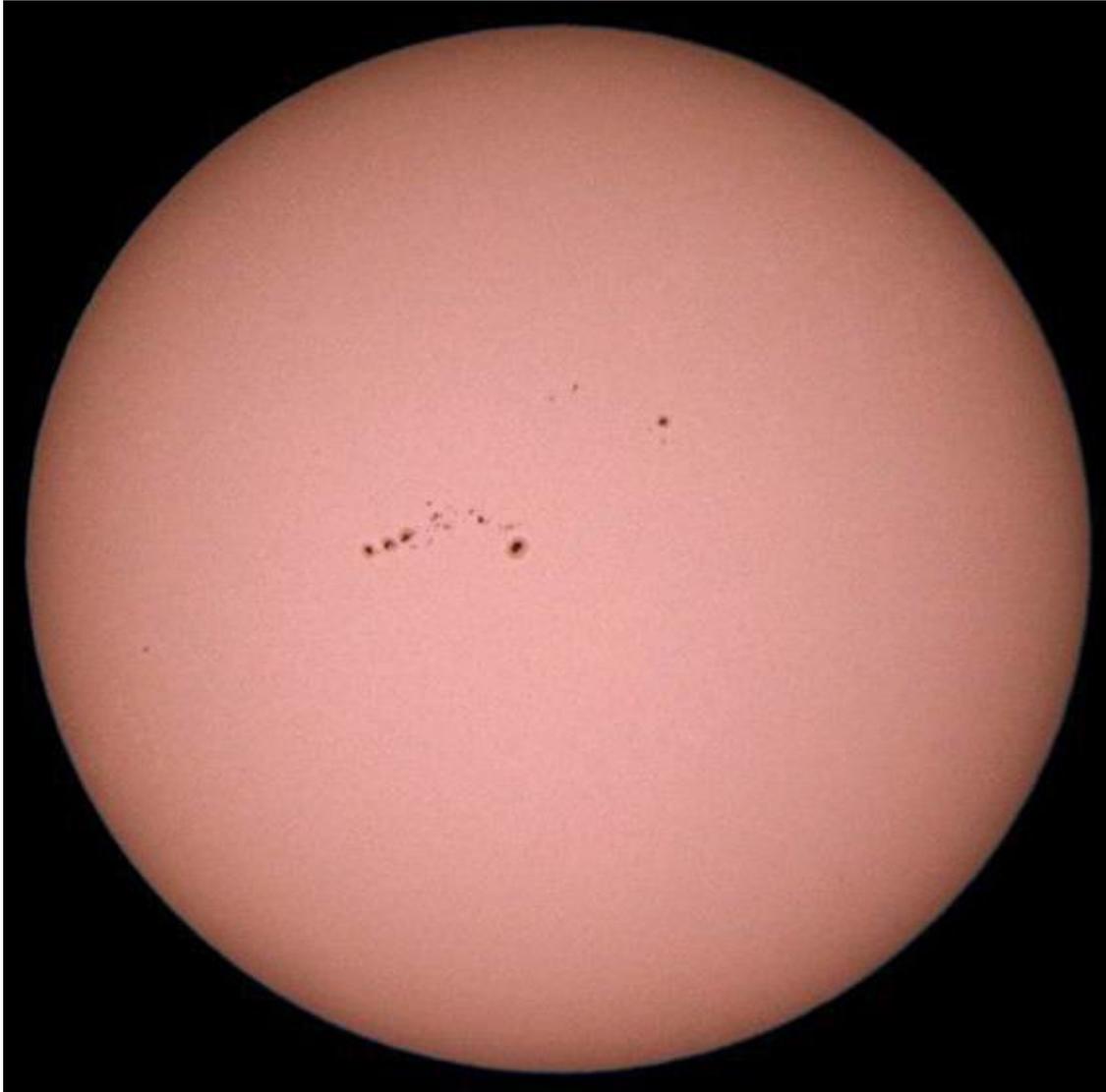




Фотосфера

Толщина: $\sim 300 \div 500$ км. Плотность: $10^{-8} \div 10^{-9}$ г/см³

Давление: $\sim 0,1$ атм.



Образует **видимый диск Солнца.**

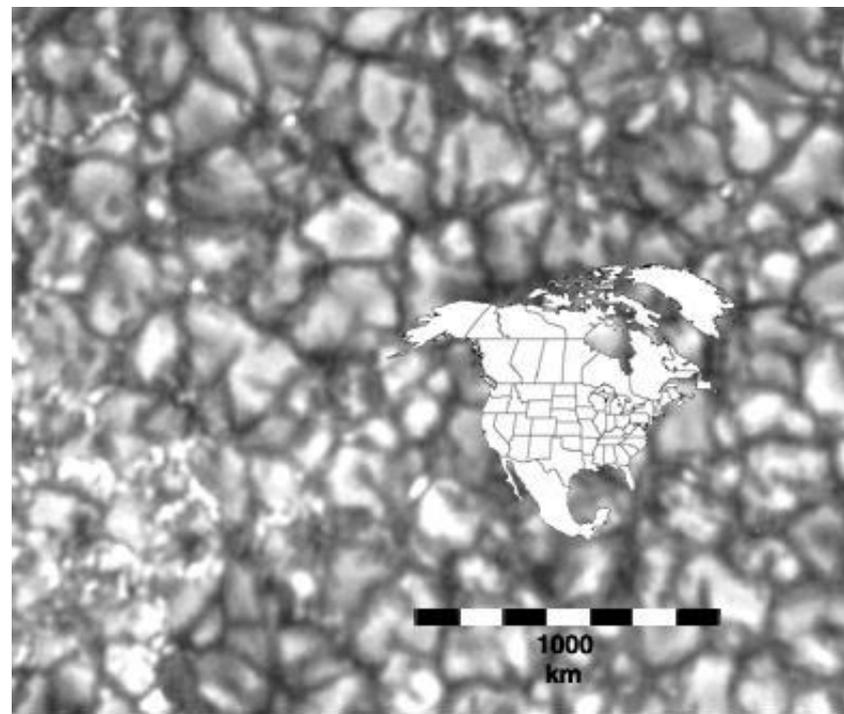
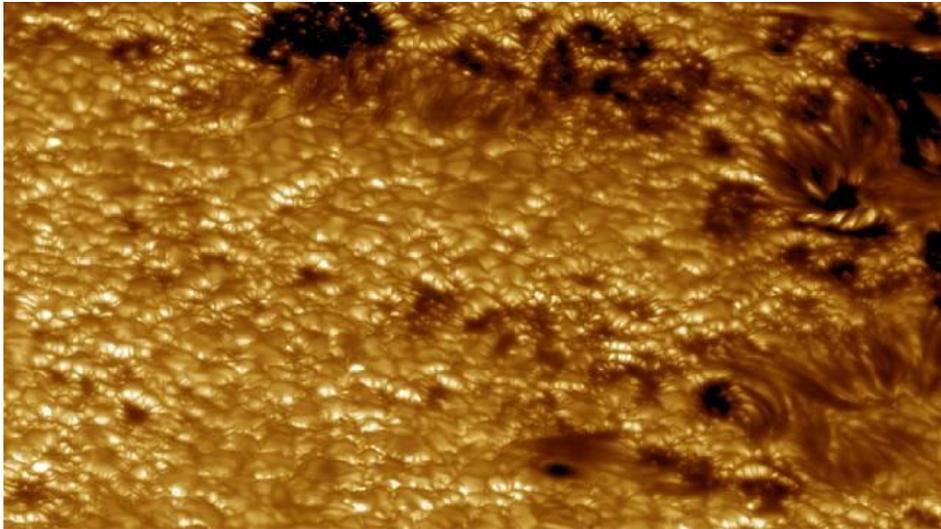
Видны **солнечные пятна**

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 **~ 1 км/с.** Формируют характерную зернистую структуру спокойной солнечной фотосферы.

Пятна и факелы



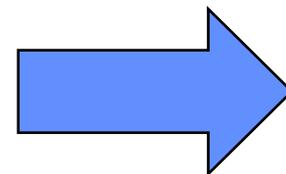
Вращение Солнца

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.



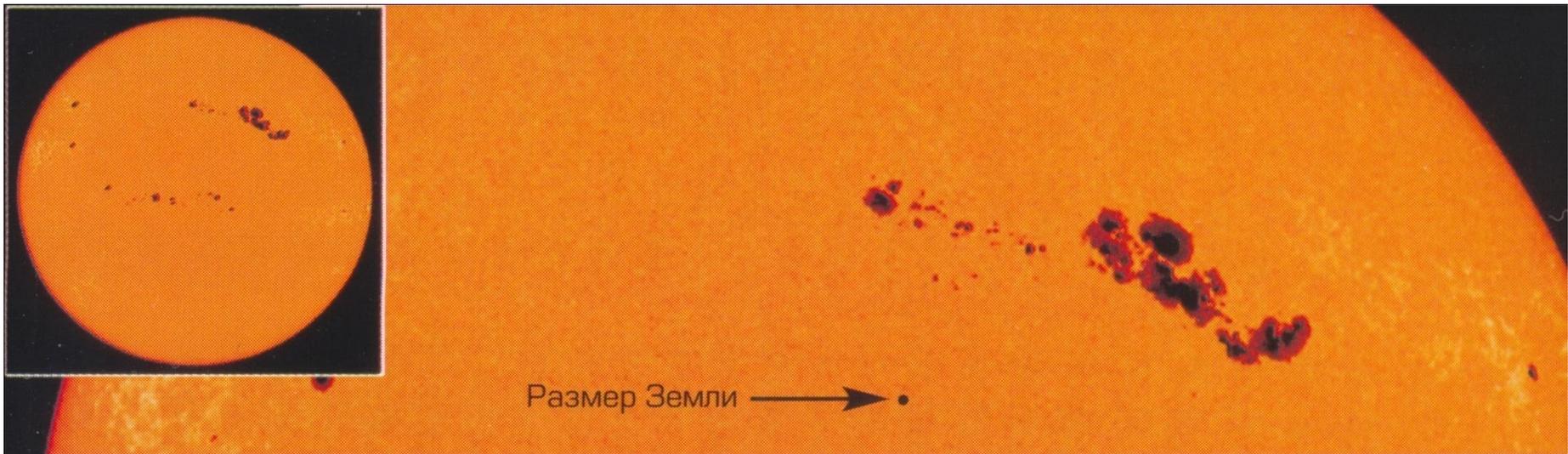
Солнечные пятна

Темные локальные области фотосферы.

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

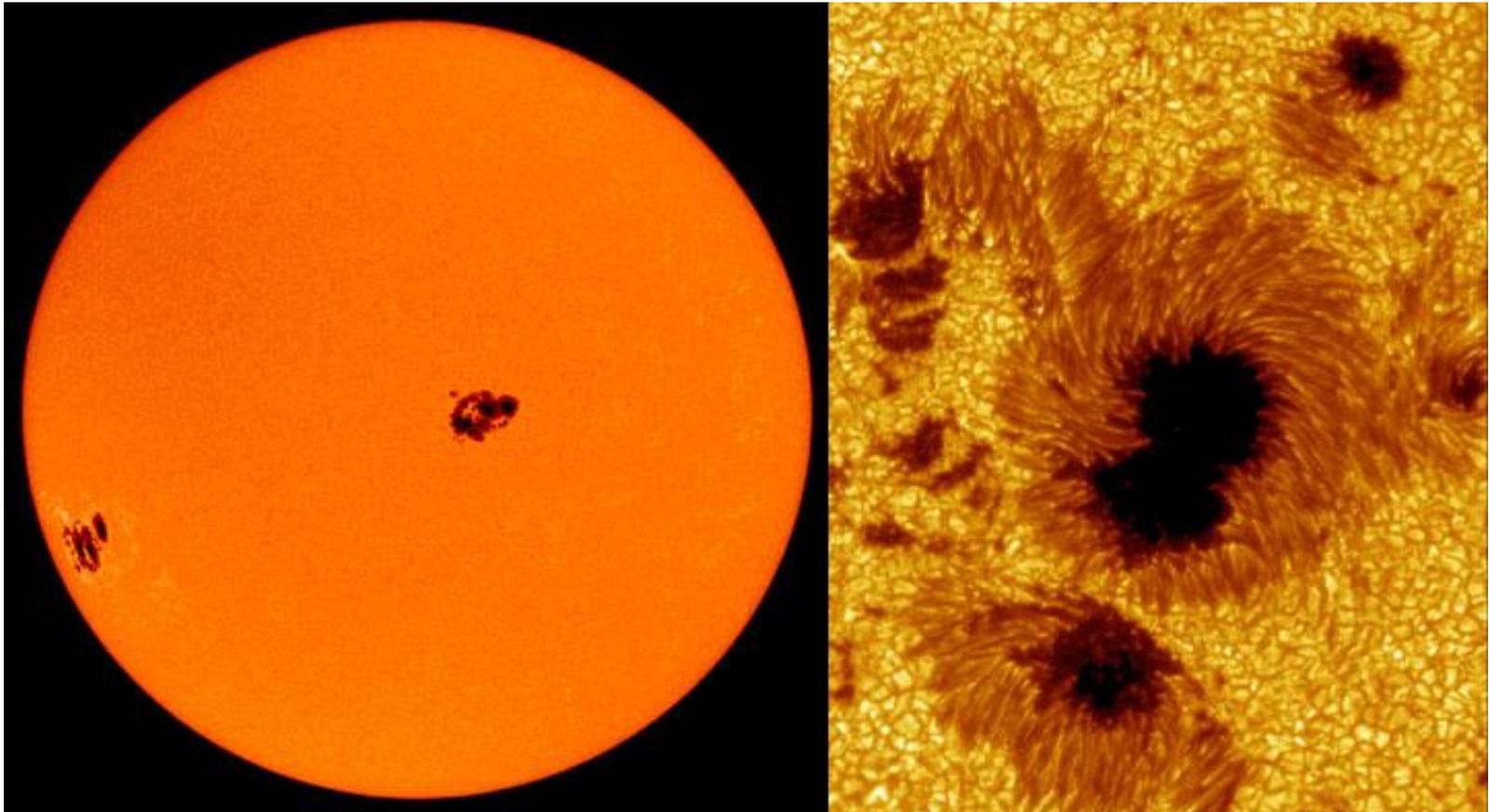
Размеры – **от 1000 до десятков тысяч км.**

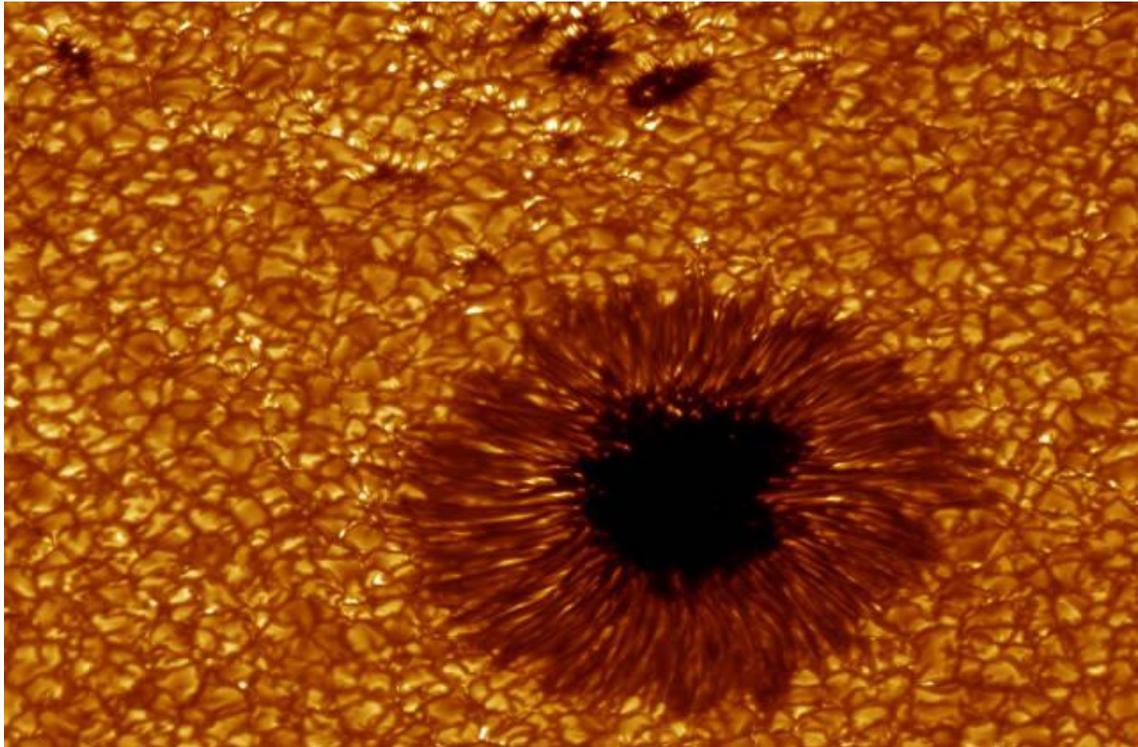
Наблюдаются группы пятен, которые занимают площадь $\sim 10^9$ **км²** и более. В таких группах пятен могло бы поместиться более **100 Земных шаров.**



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

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

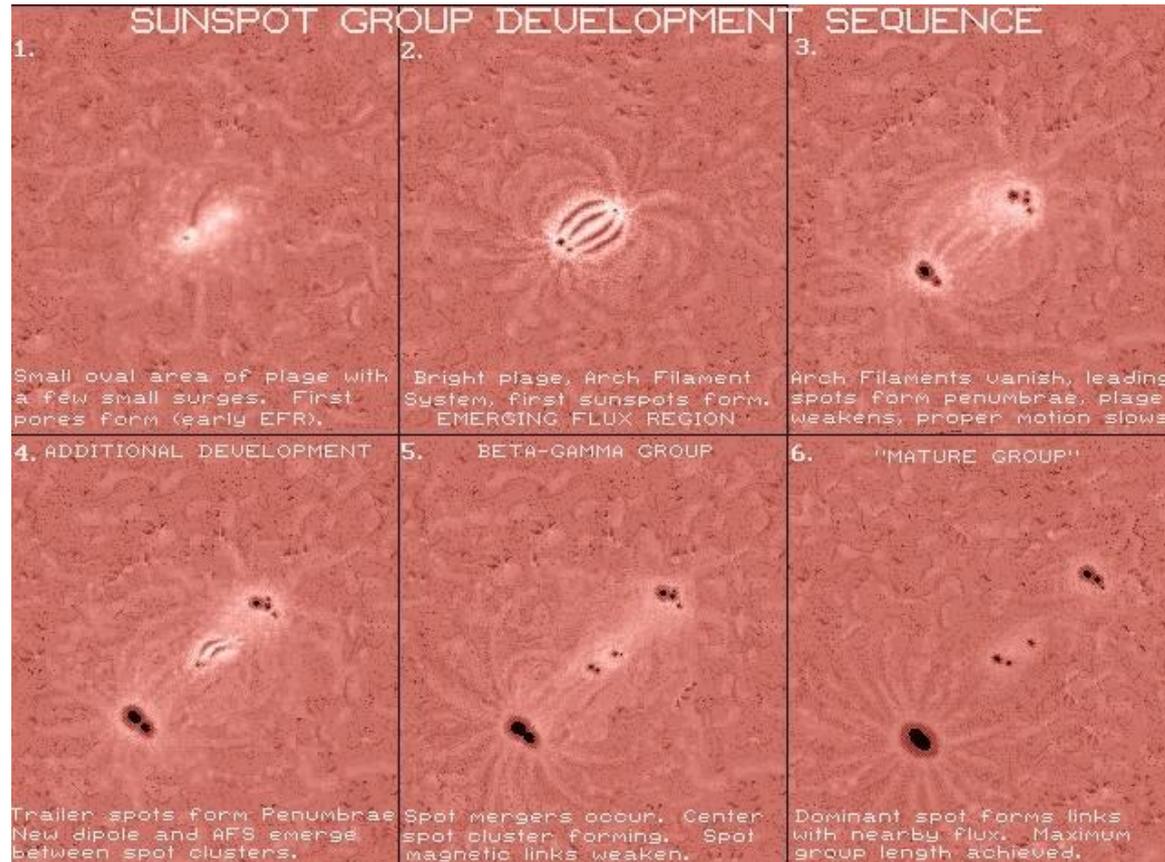




Чаще всего, пятна образуются **парами с противоположными направлениями поля.**

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

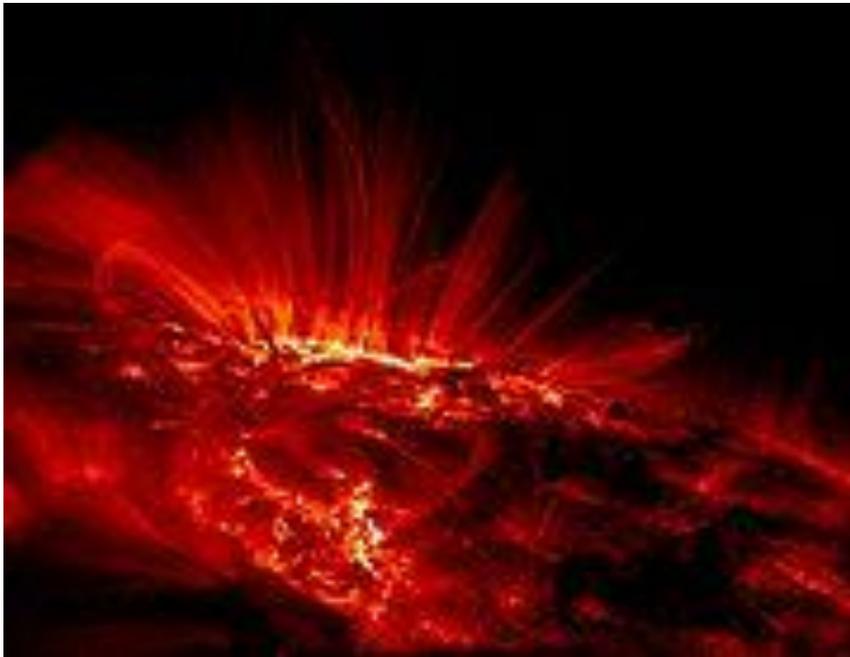
Через **несколько суток** общая площадь достигает максимума. Затем происходит **уменьшение** размеров пятен и их **распад.**



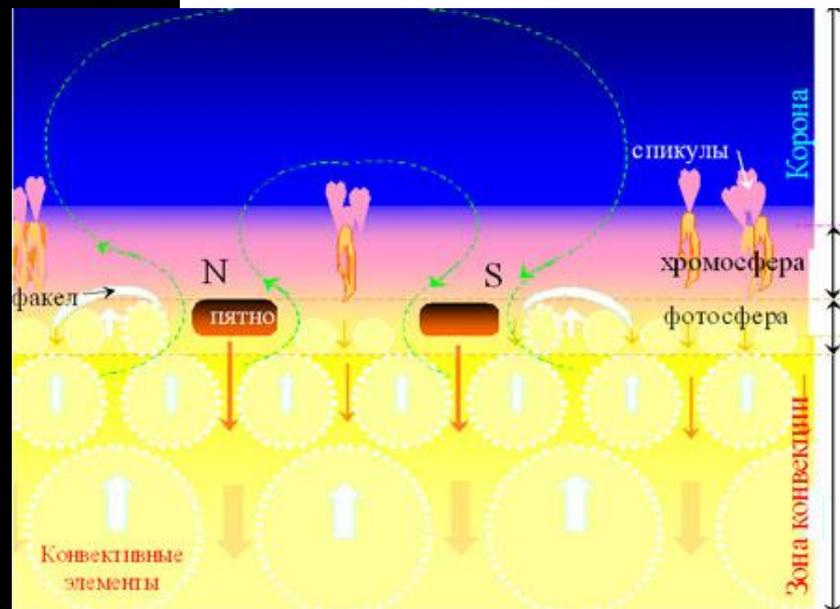
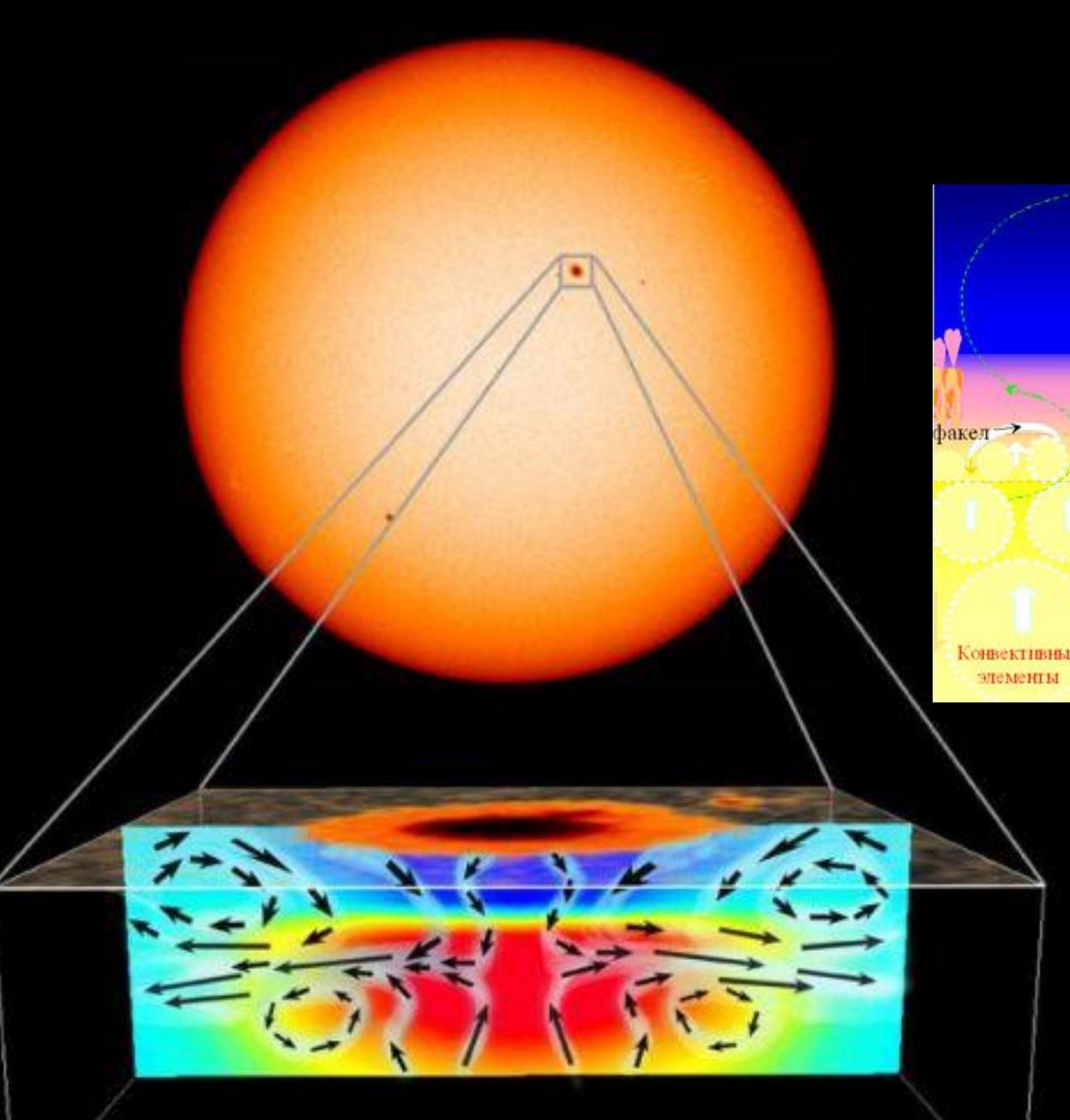
Индукция магнитного поля от 100 до 400 Гс,
(обнаружено по эффекту Зеемана).

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

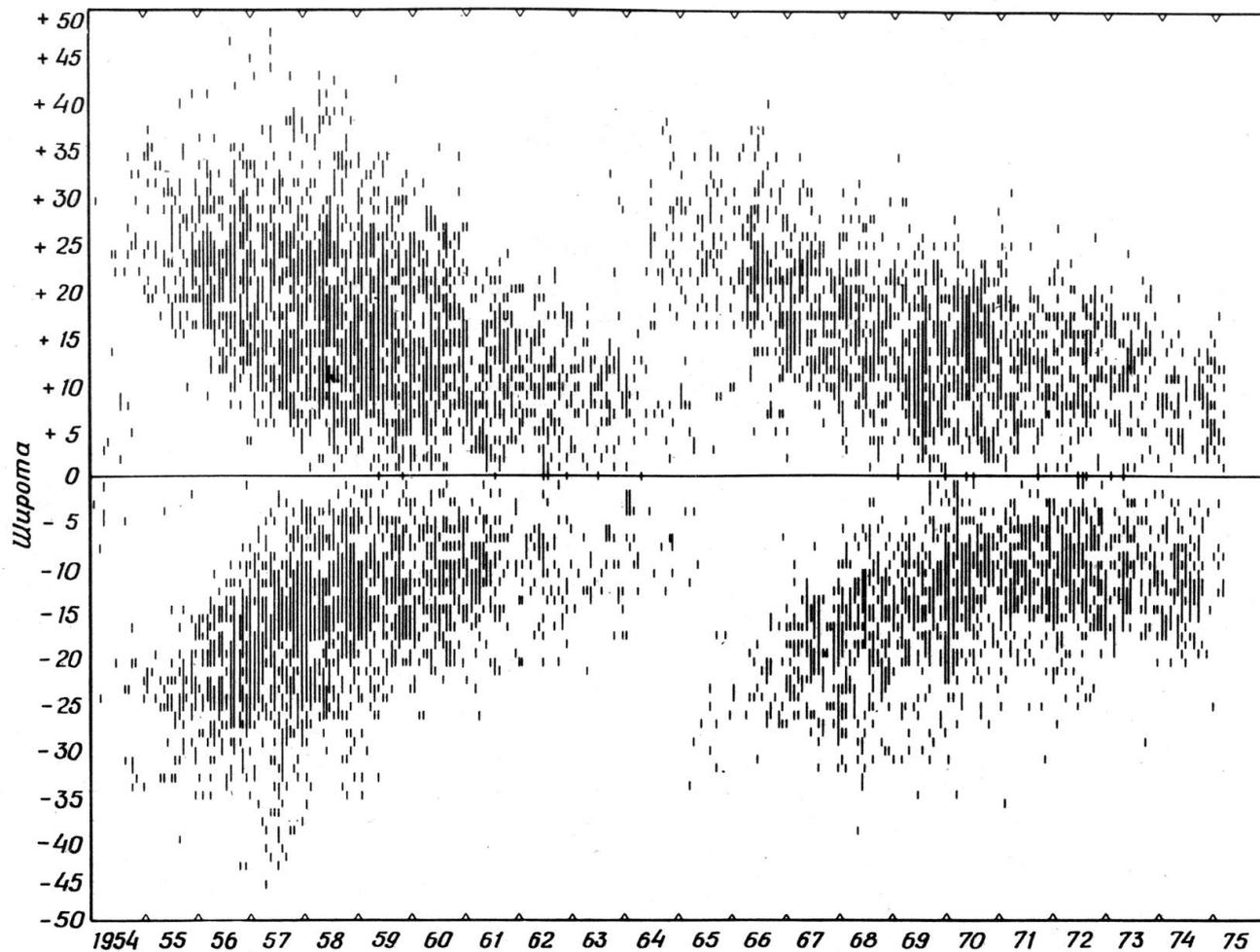
**Для создания магнитного потока среднего пятна требуется
электрический ток силой $\sim 10^{12}$ А.**

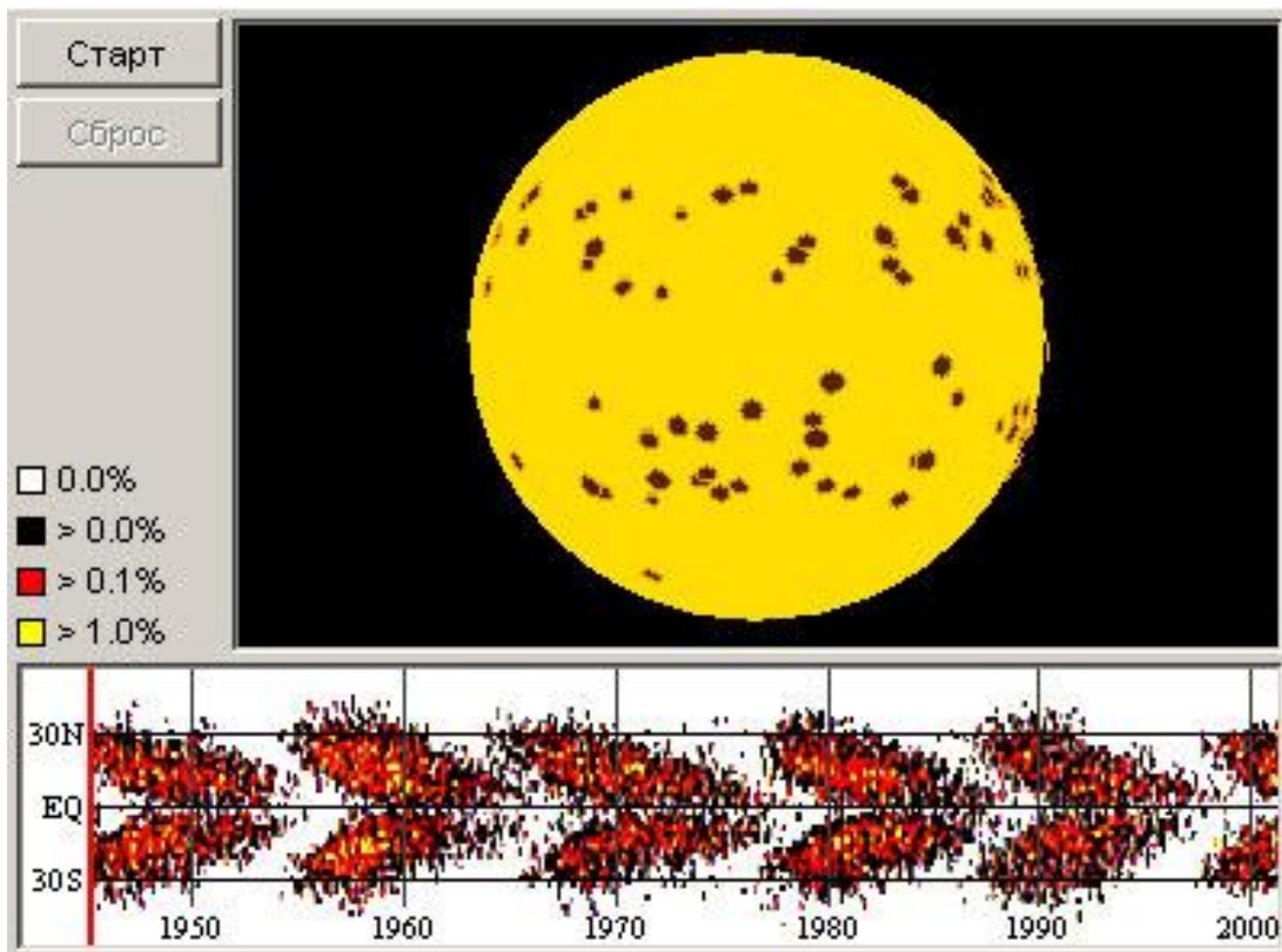


Пониженная температура
внутри пятен объясняется
торможением конвекции
сильным магнитным полем.



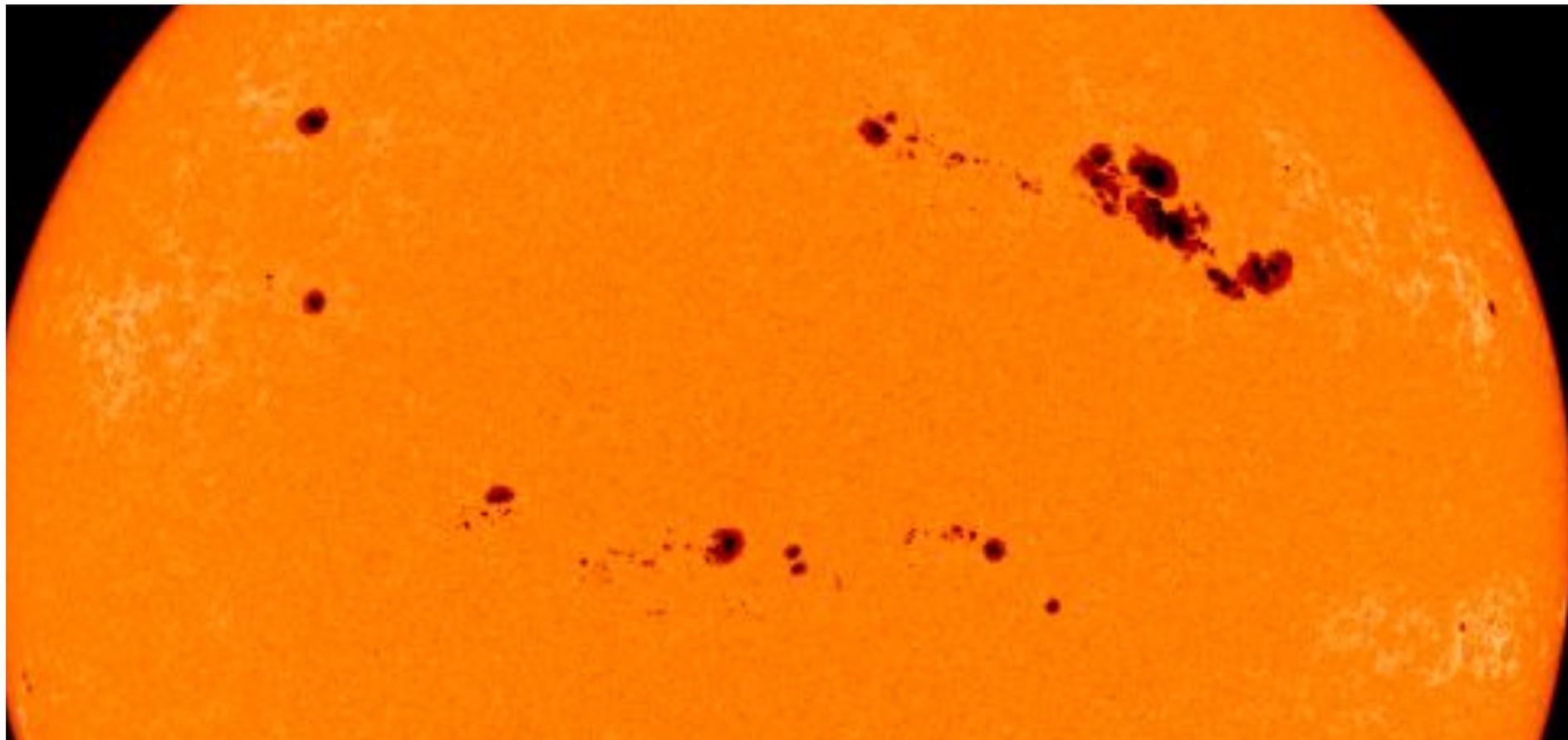
Пятна, как правило, возникают вблизи экватора на широтах 5°
 -40° .





Факелы

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

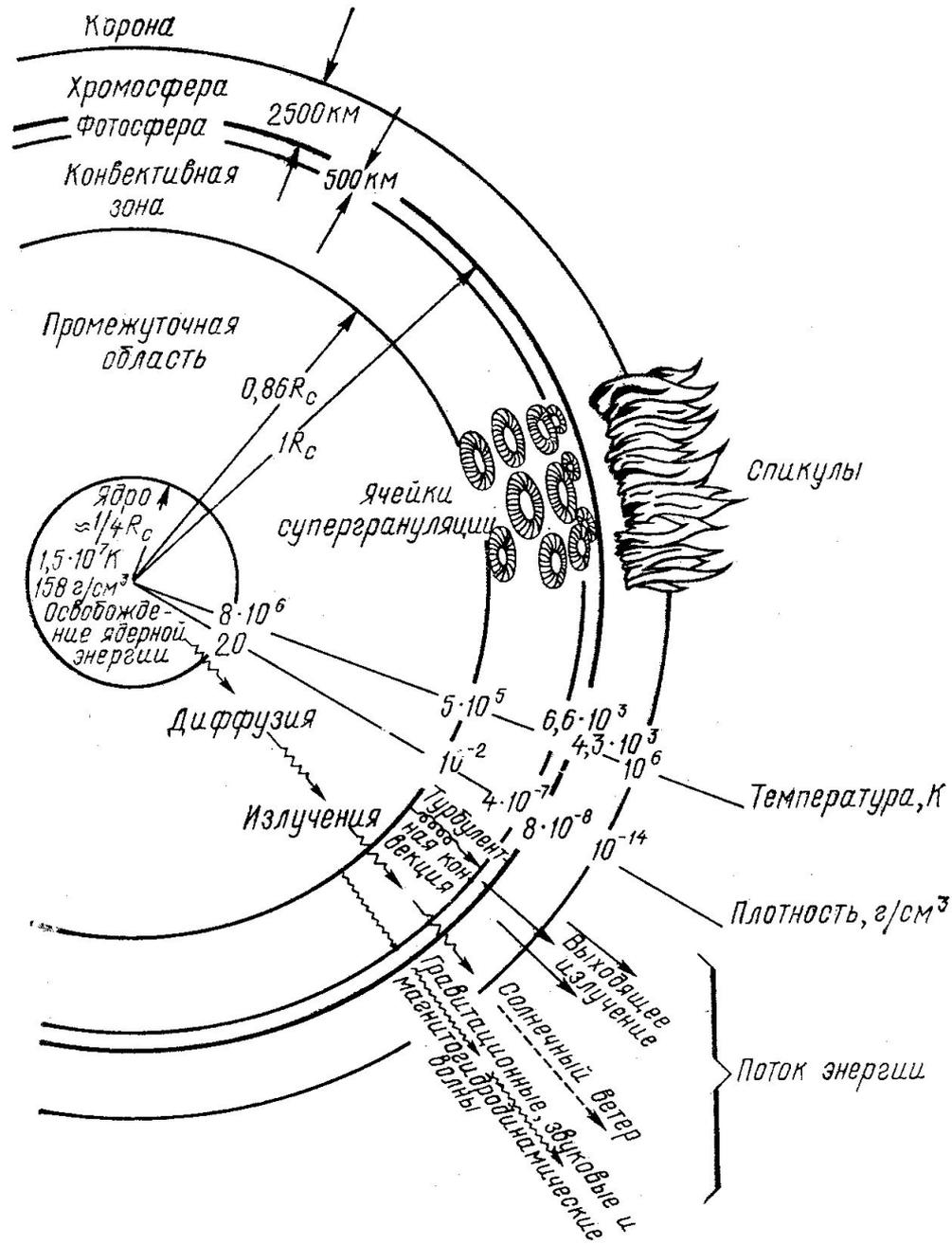


Размер ~ **сотни километров**, образуют цепочки и ажурную сетку. Площадь факельных площадок в несколько раз превышает площадь соответствующей группы пятен.

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** .

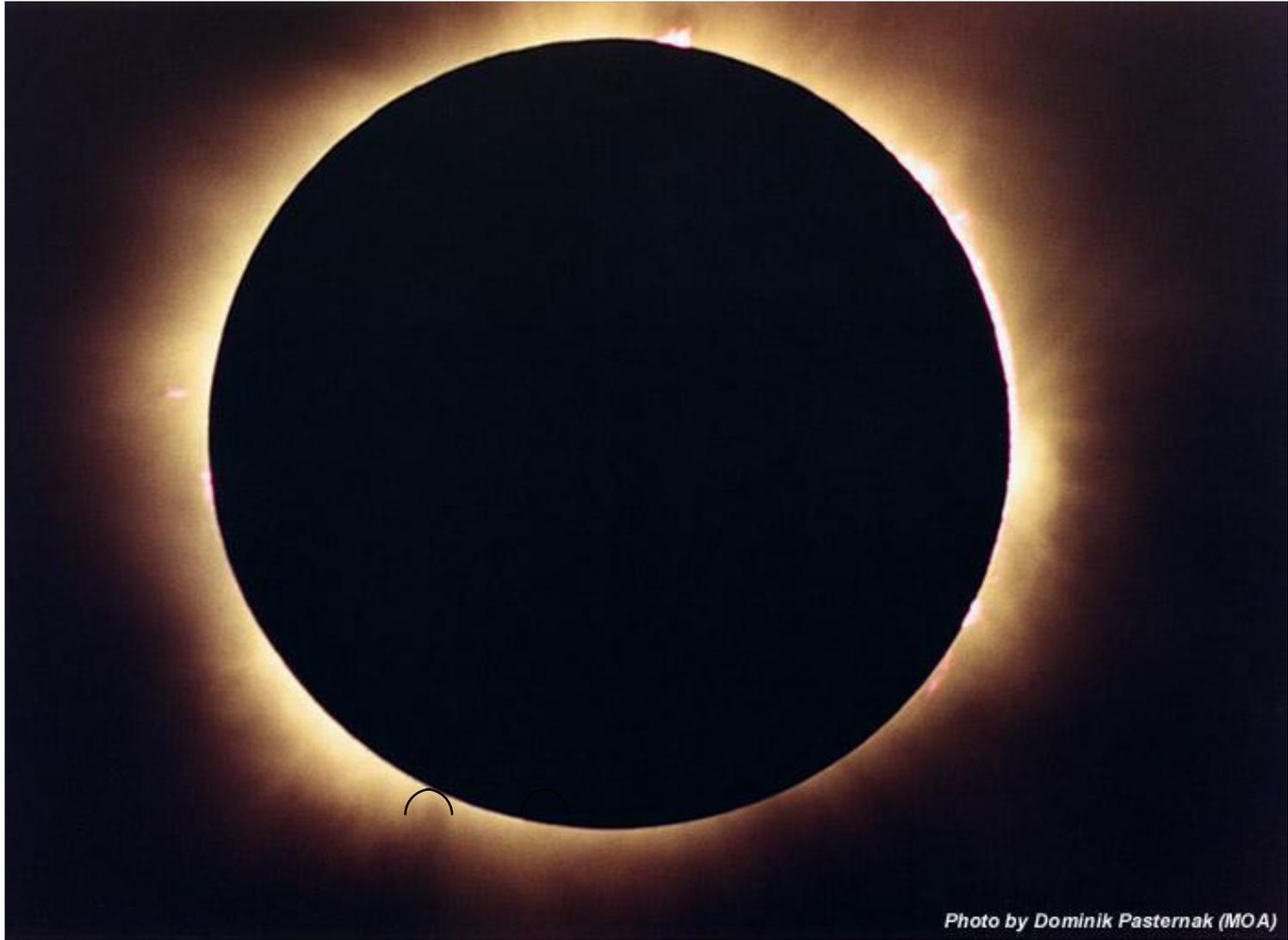
Слой, разделяющий фотосферу и хромосферу, имеет **минимум** температуры **≈ 4170 К**.

Плотность убывает при удалении от фотосферы до **$\sim 10^{-15}$ г/см³** (до **10^9 атом/см³**).

Верхняя хромосфера весьма **неоднородна**.

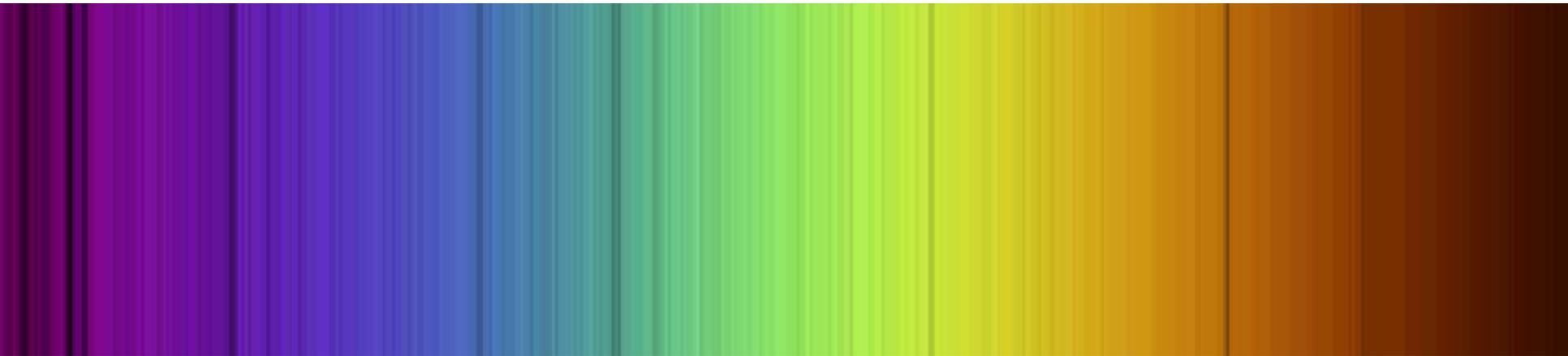
Температура хромосферы при увеличении высоты возрастает от **до нескольких десятков тысяч кельвин**.

Полное солнечное затмение



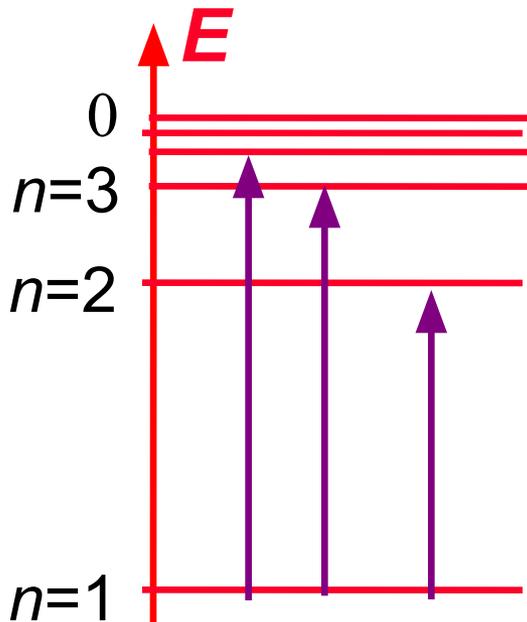
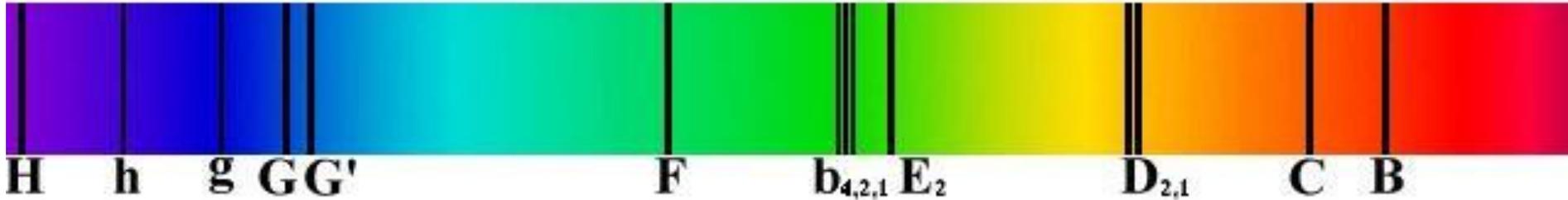
Видна яркая **хромосфера**

Спектр Солнца

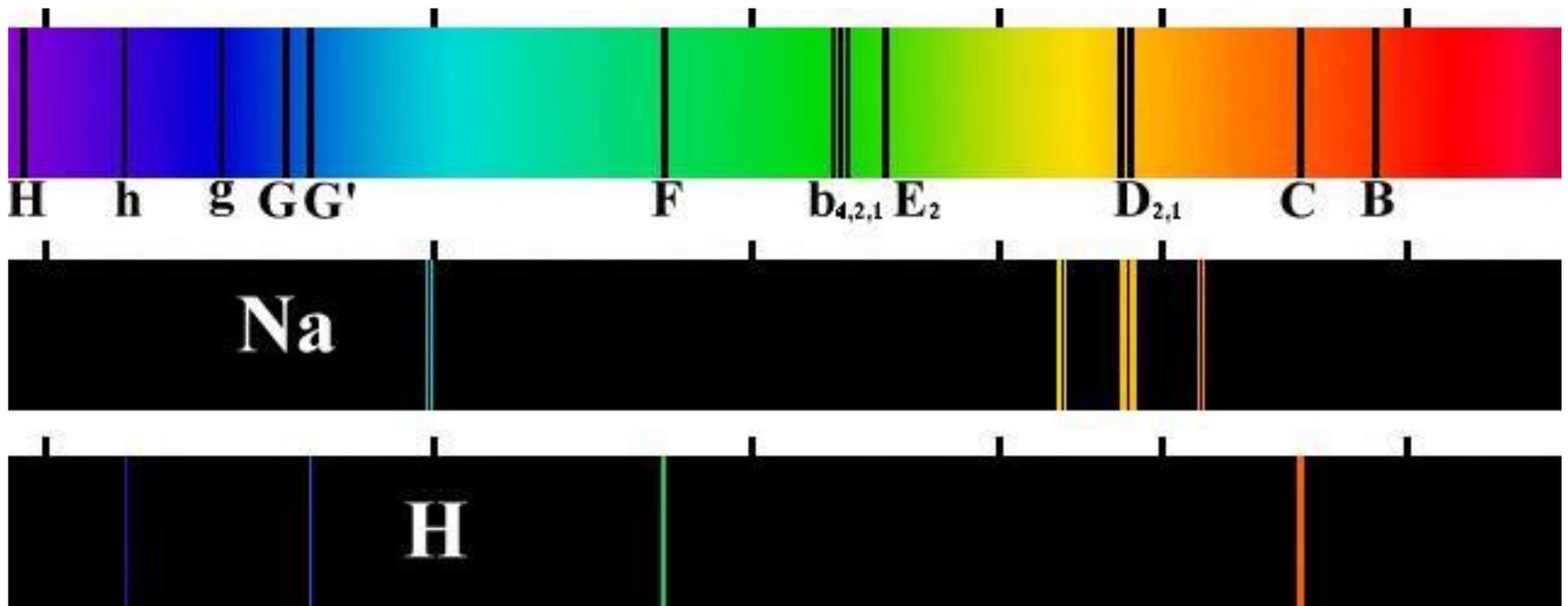


Спектр хромосферы содержит огромное количество **ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ**.

Линии Фраунгофера



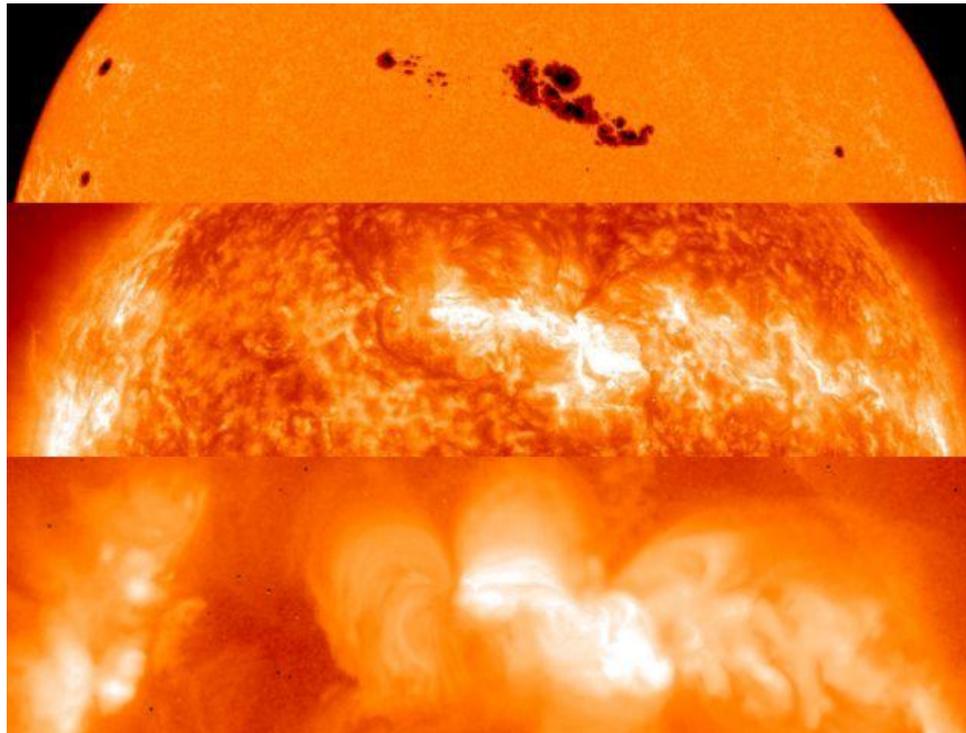
На непрерывный спектр фотосферы накладываются дискретные спектральные линии поглощения **атомов** и **ионов**, находящиеся в нижней части хромосферы.



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

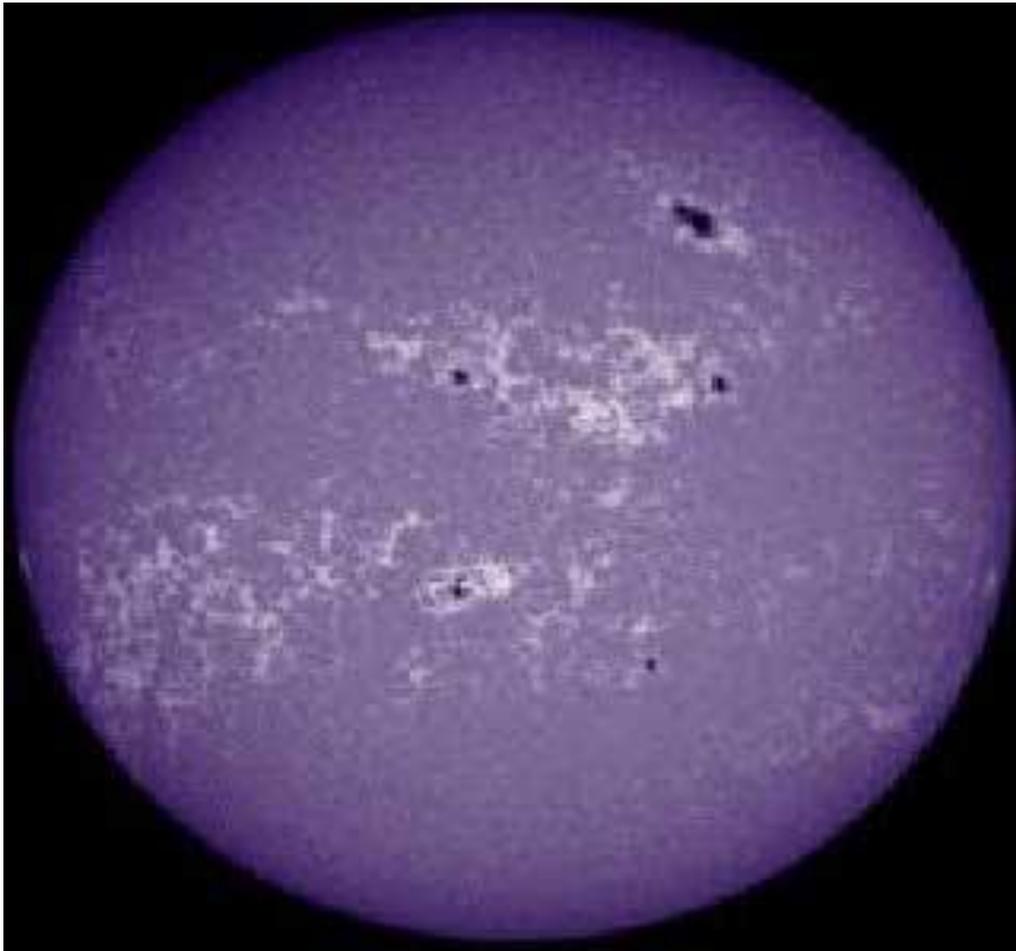
Спектральные линии поглощения позволяют идентифицировать **химические элементы**, входящие в состав Солнца.

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



Флоккулы

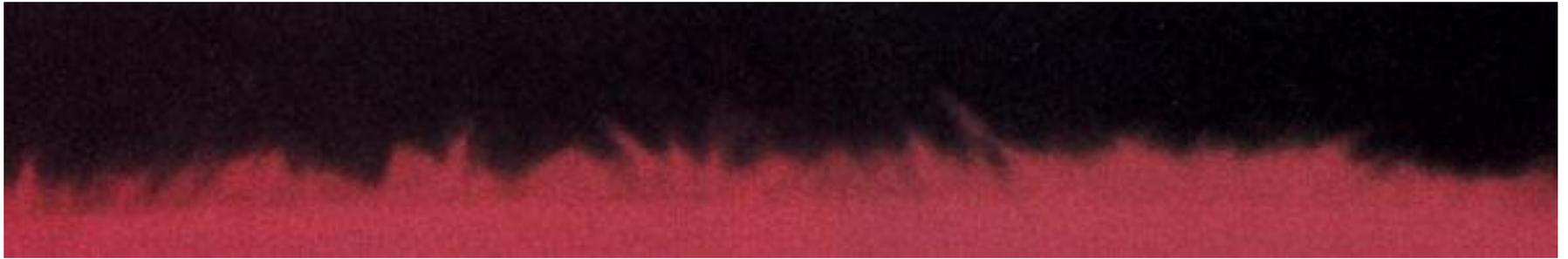
Над факелами в **хромосфере** формируются **флоккулы**.



**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 **~ 10⁶ тонн.**

Общее количество **≈ 10⁶.**

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 см^3** .

Фотография солнечной короны, полученная во время
полного солнечного затмения



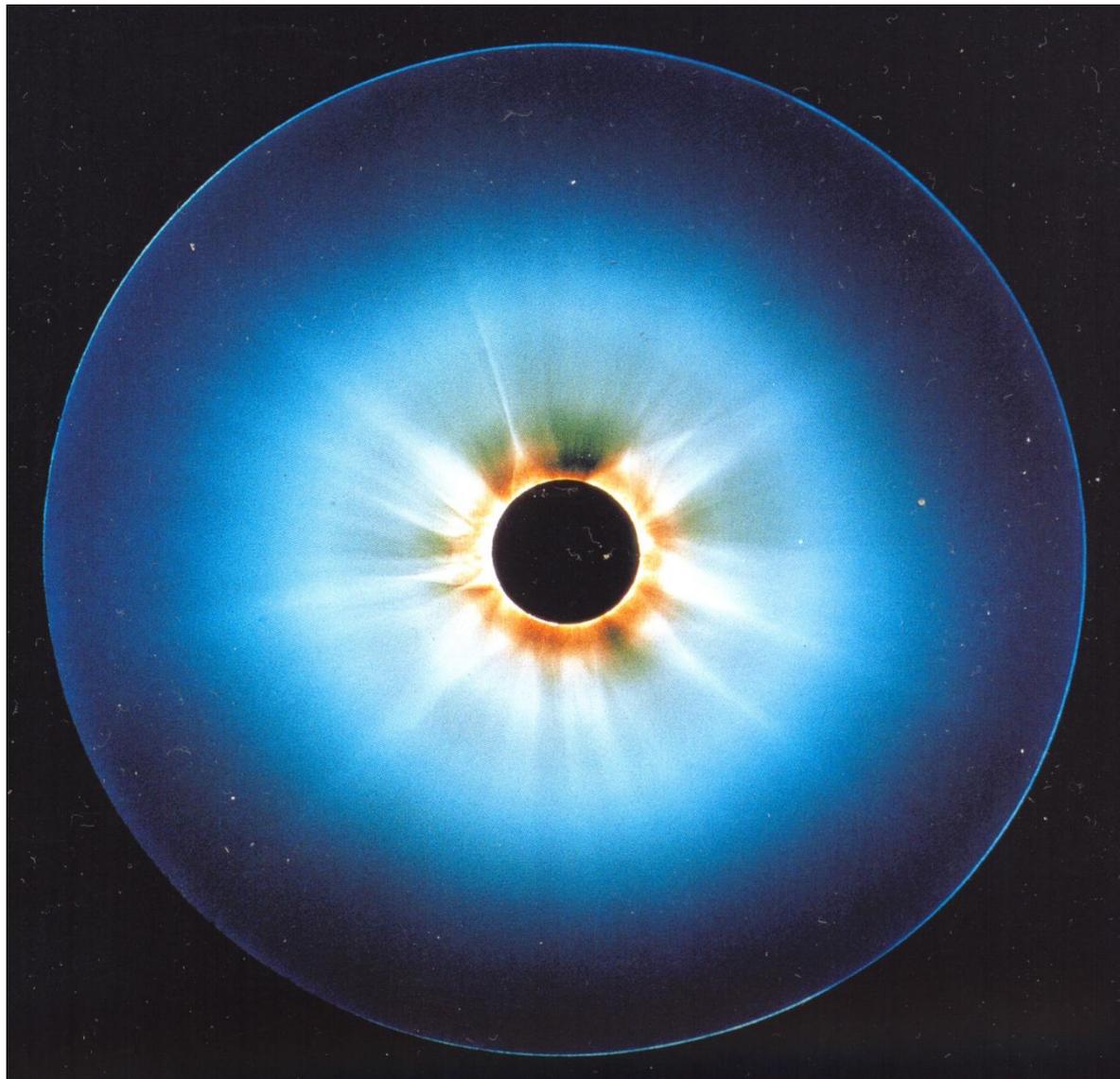
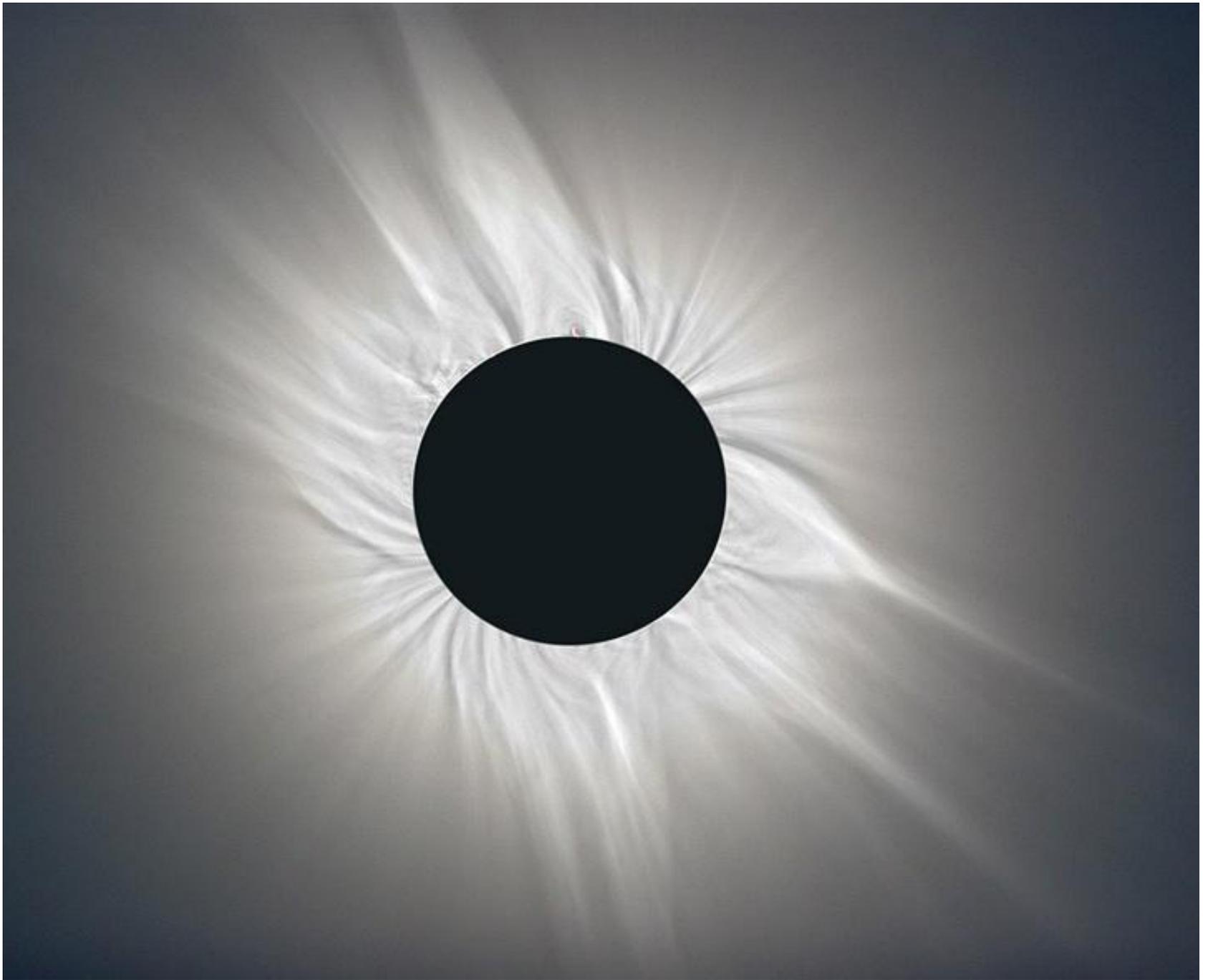


Фото **солнечной короны**, сделанное с помощью
коронोगрафа



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**.

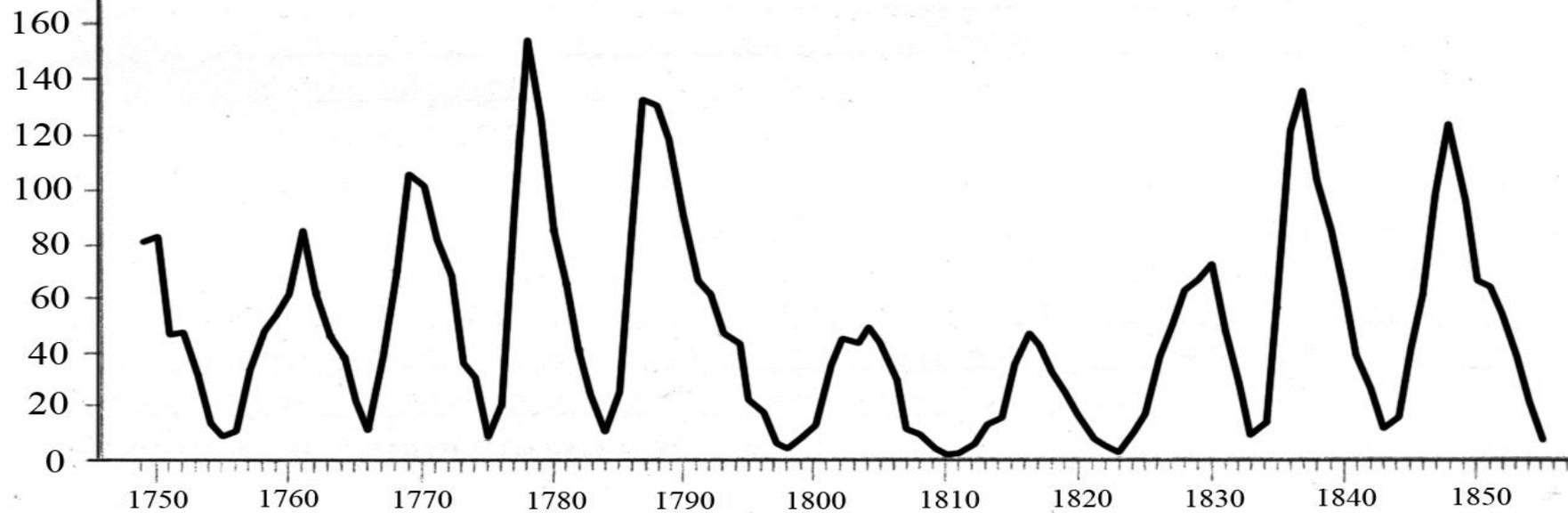
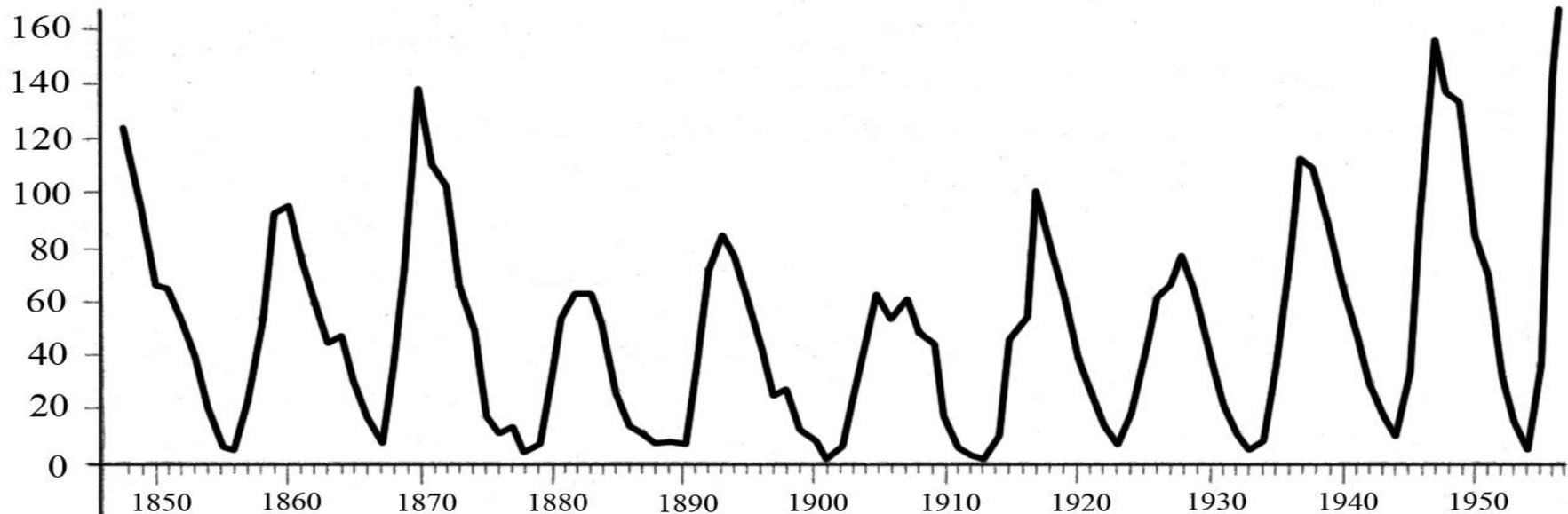
Наиболее изученная форма периодичности солнечной активности – **ежегодное изменение количества наблюдаемых солнечных пятен**, которое описывается **числом Вольфа**

$$W = n_S + 10 n_G$$

n_S – количество солнечных пятен,

n_G – количество групп пятен

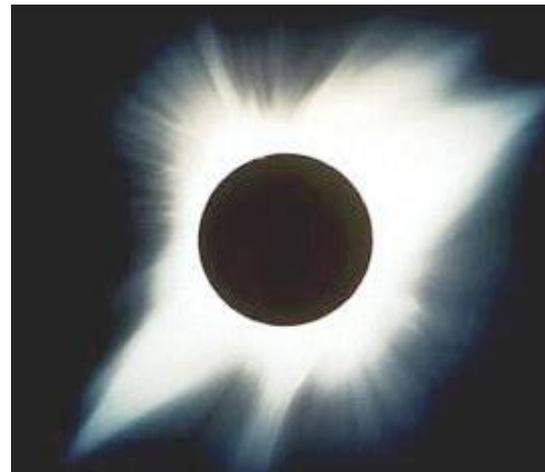
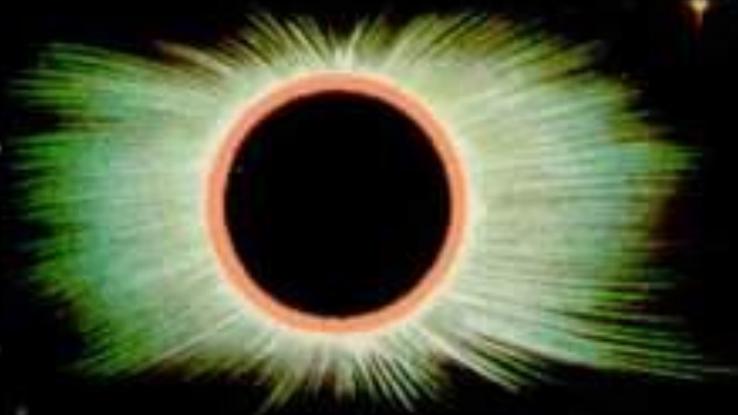
Ежегодные значения числа Вольфа



Максимум солнечной активности



Минимум солнечной активности



Вид внутренней солнечной короны в различные фазы солнечной активности

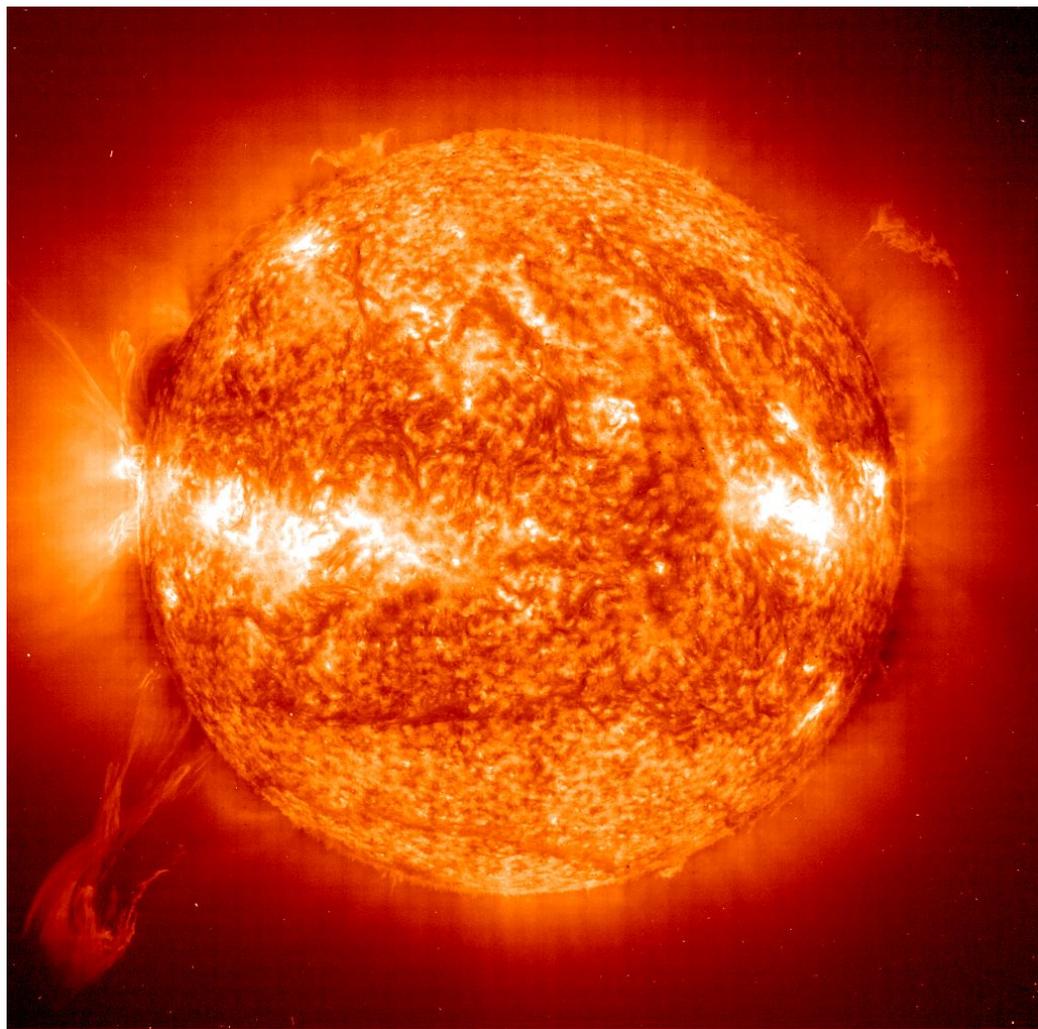
Протуберанцы

Гигантские выбросы плазмы над диском фотосферы.



Справа внизу
для сравнения
– Земной шар

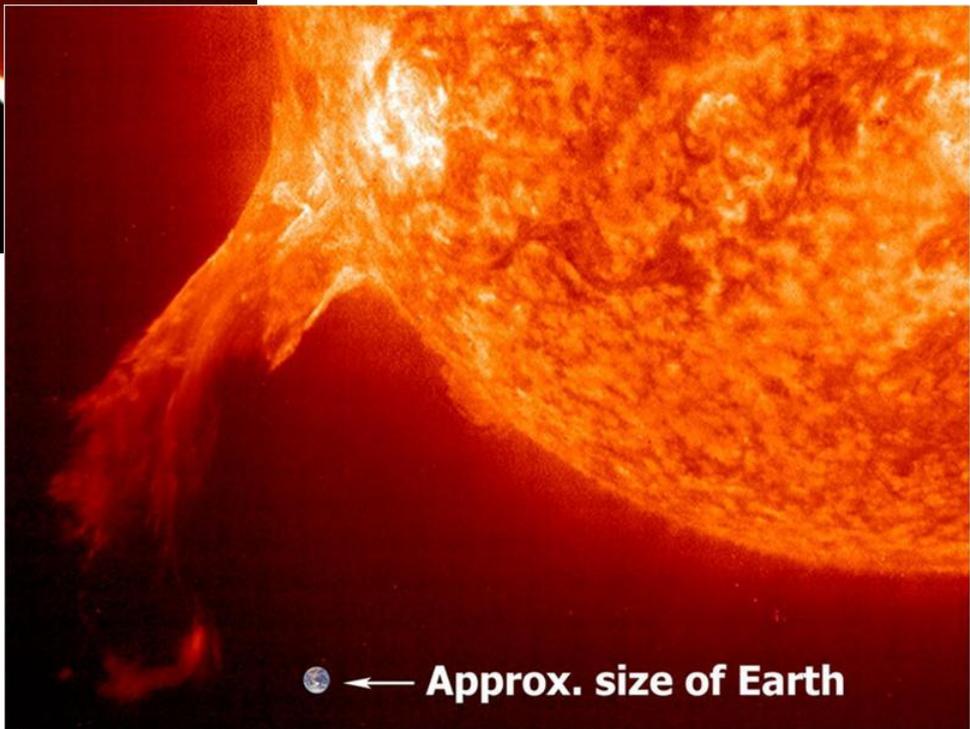
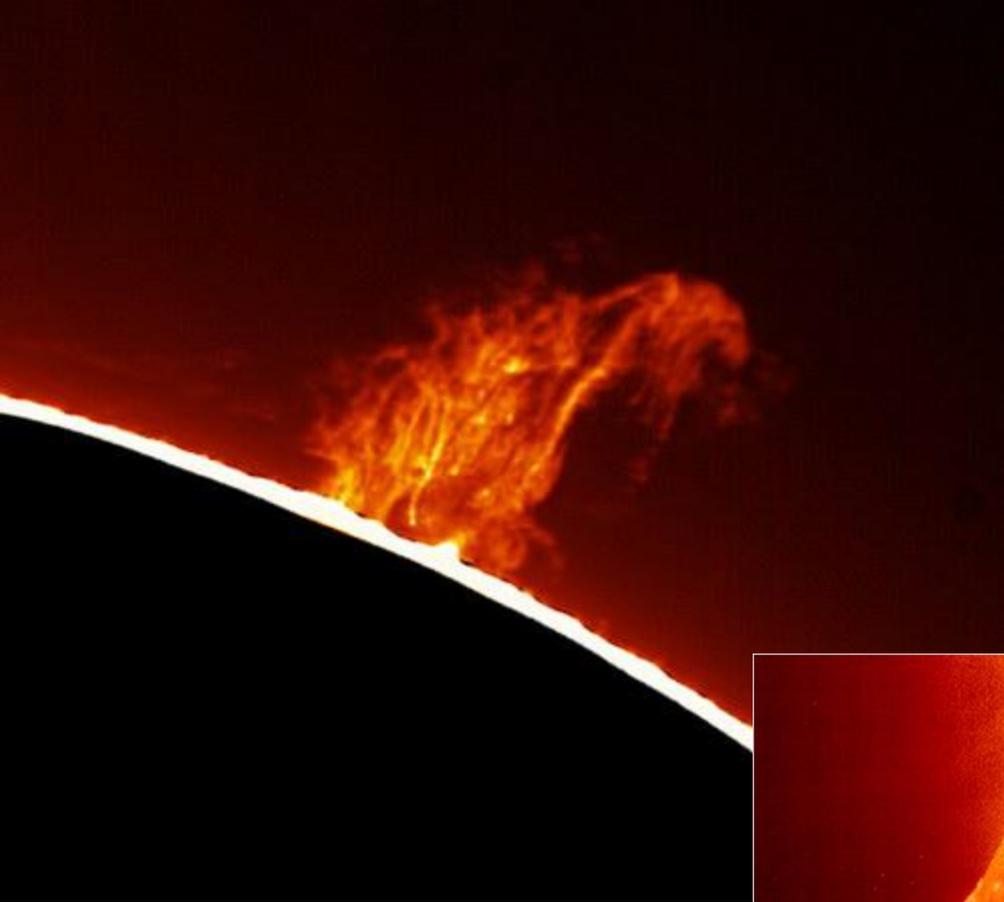
Солнце в ультрафиолетовом диапазоне



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».

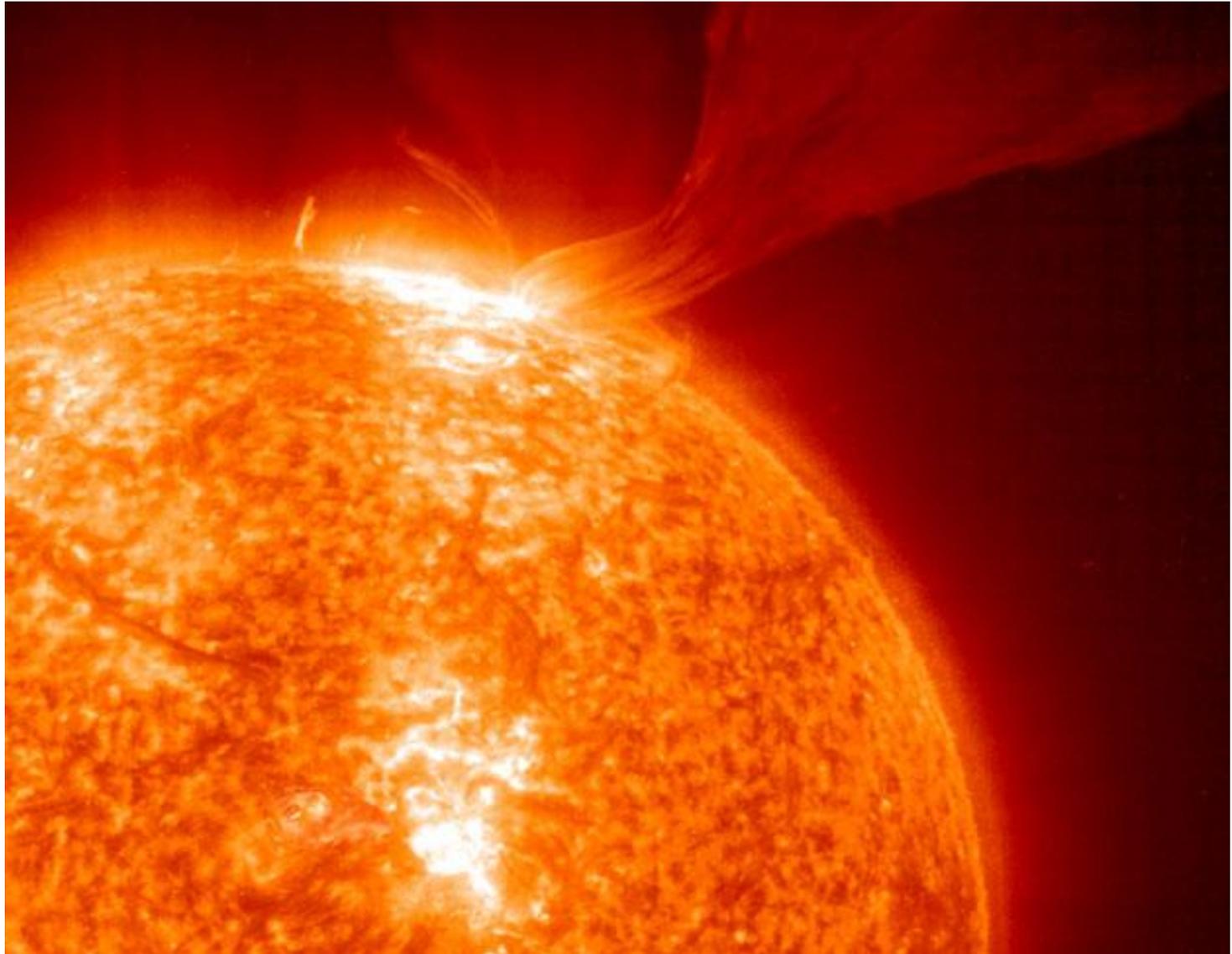
В среднем они имеют **длину 60 000 – 600 000 км, высоту 15 000 – 100 000 км, толщину 4000 – 15000 км.**

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

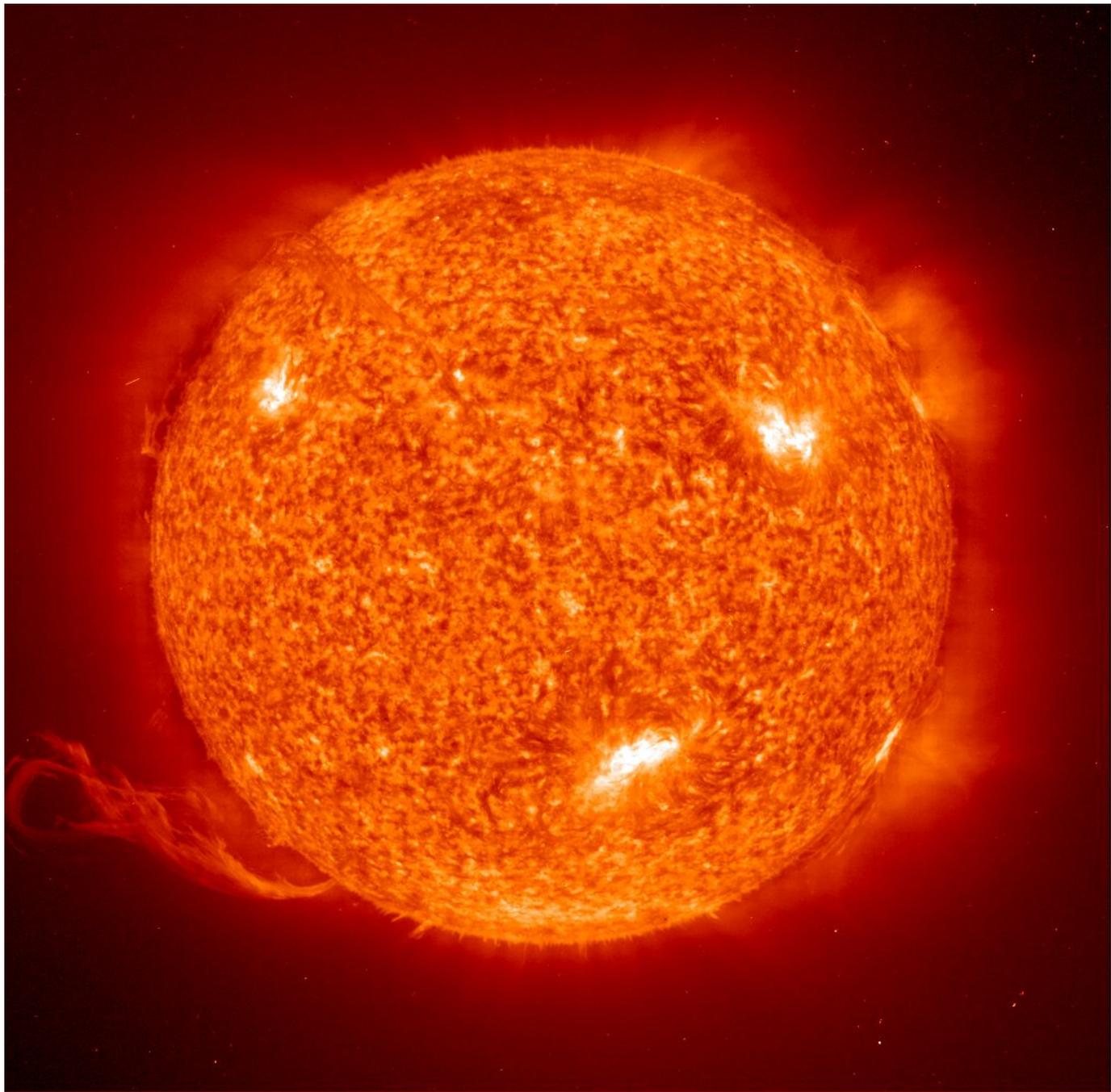
Существуют не более **нескольких часов** и обладают магнитным полем **~100 гс**.

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.**

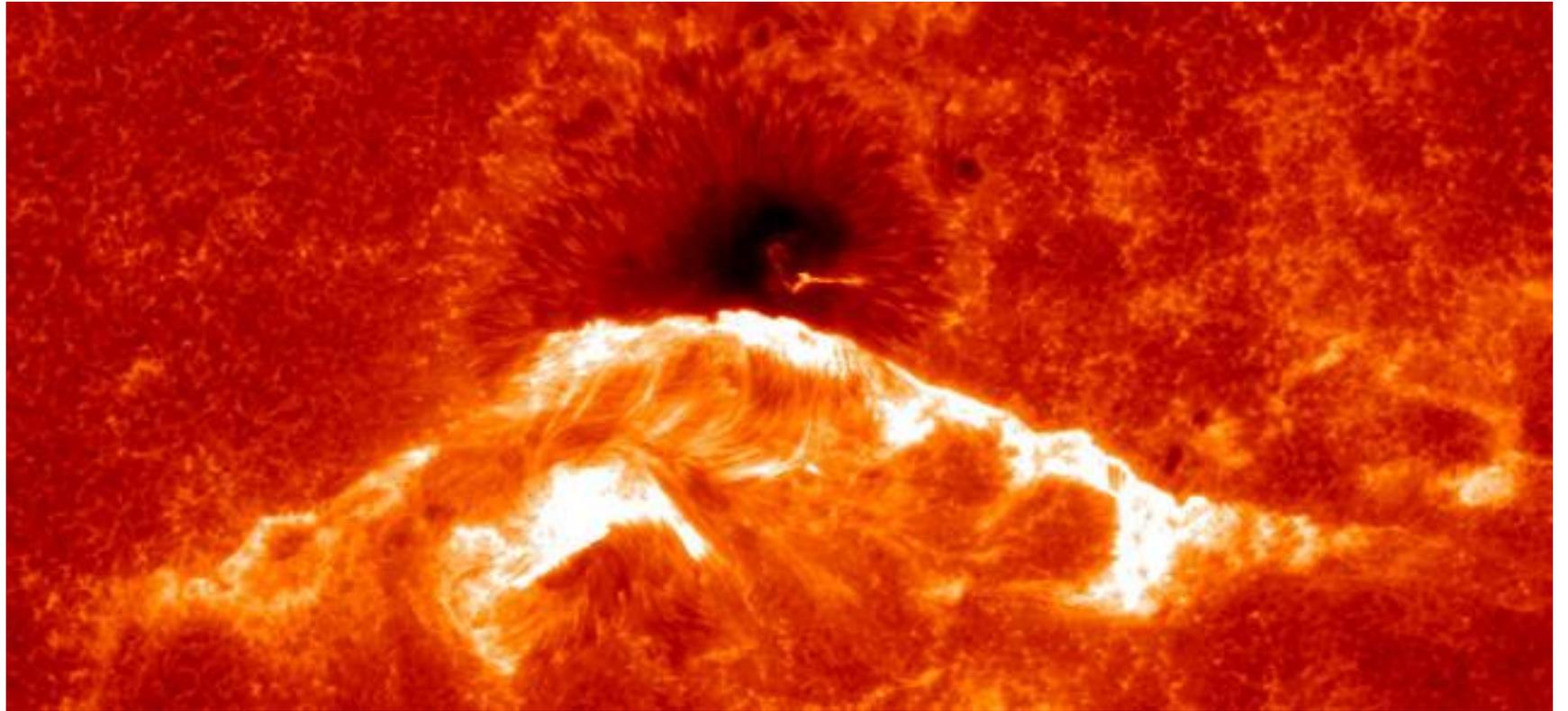
Длинноволновая граница – **несколько километров.**

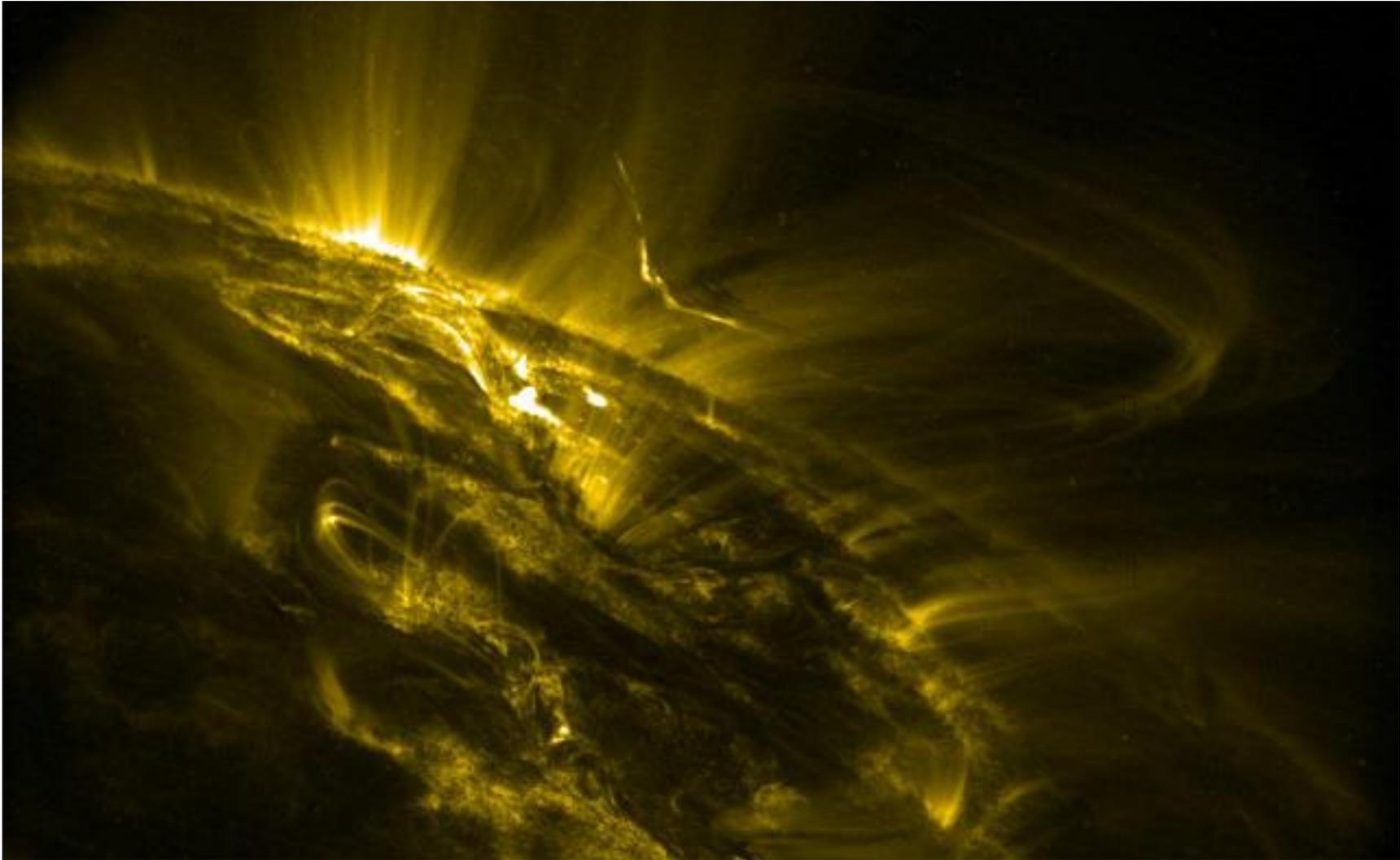
Во внешнюю корону выбрасывается плазма со скоростью до **400 км/с.**

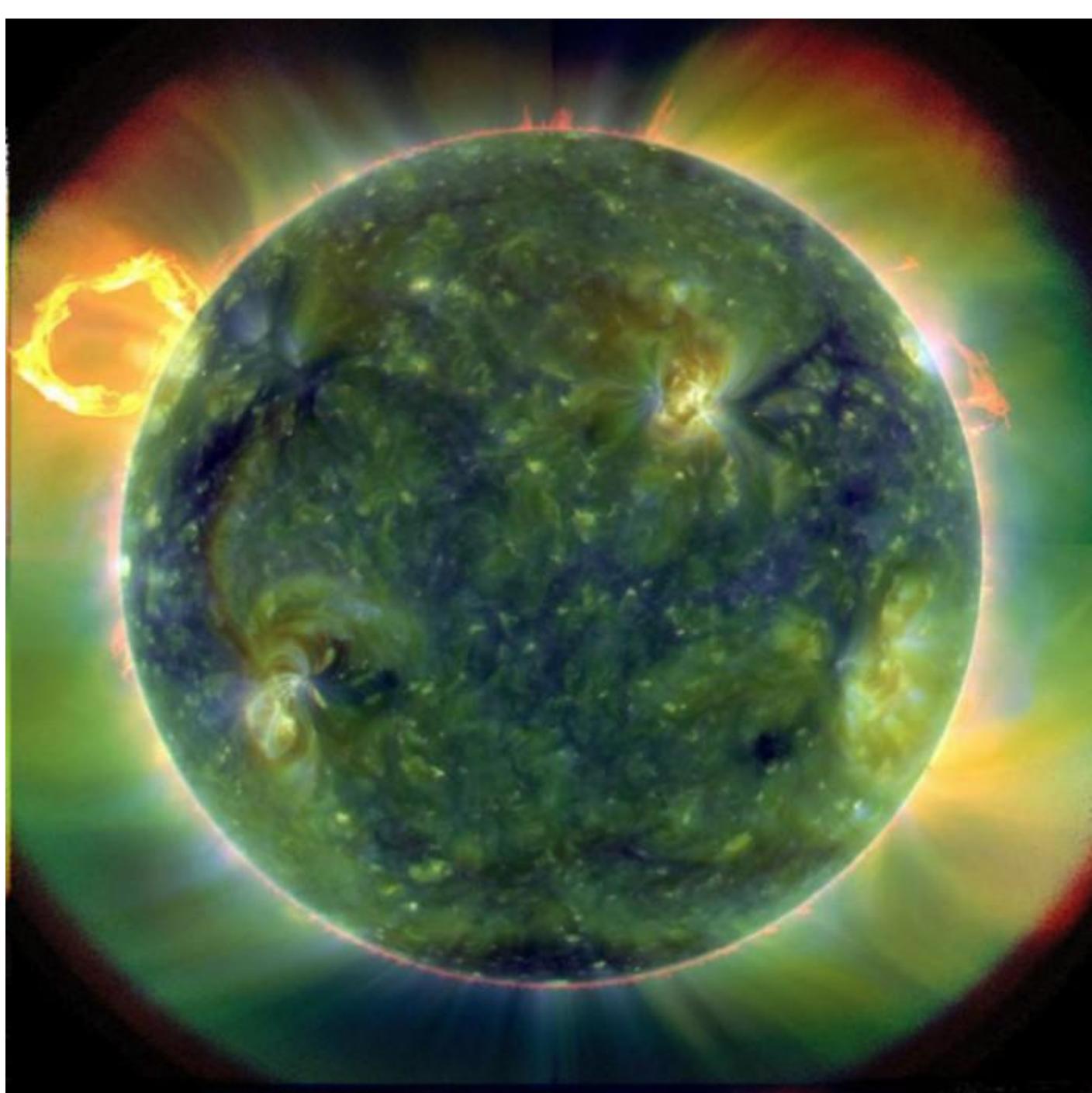
Площадь вспышки $\sim 10^8 \div 10^{10} \text{ км}^2$.

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/см²/сек.**

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

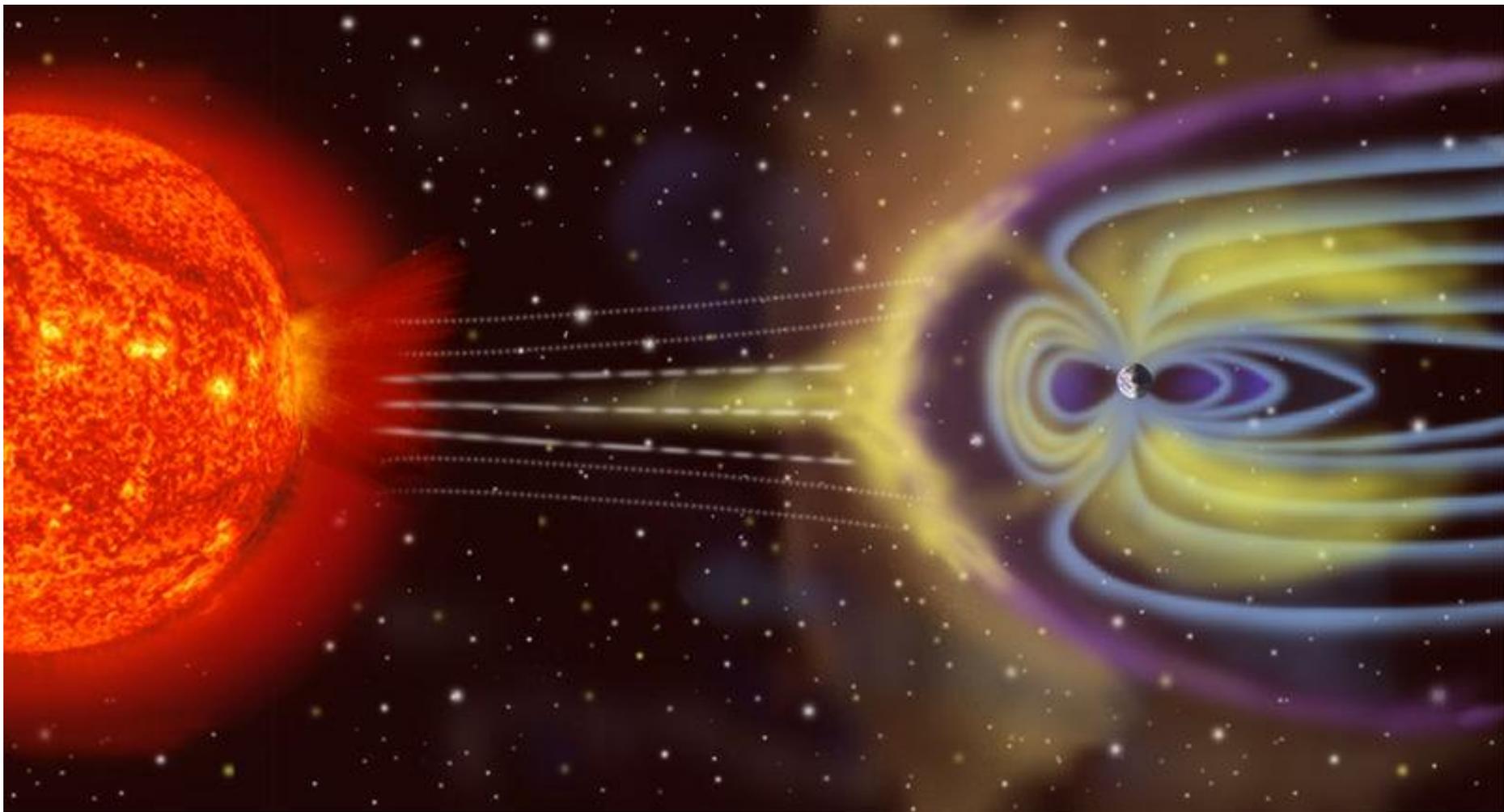


Схема взаимодействия солнечного ветра
с магнитосферой Земли

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

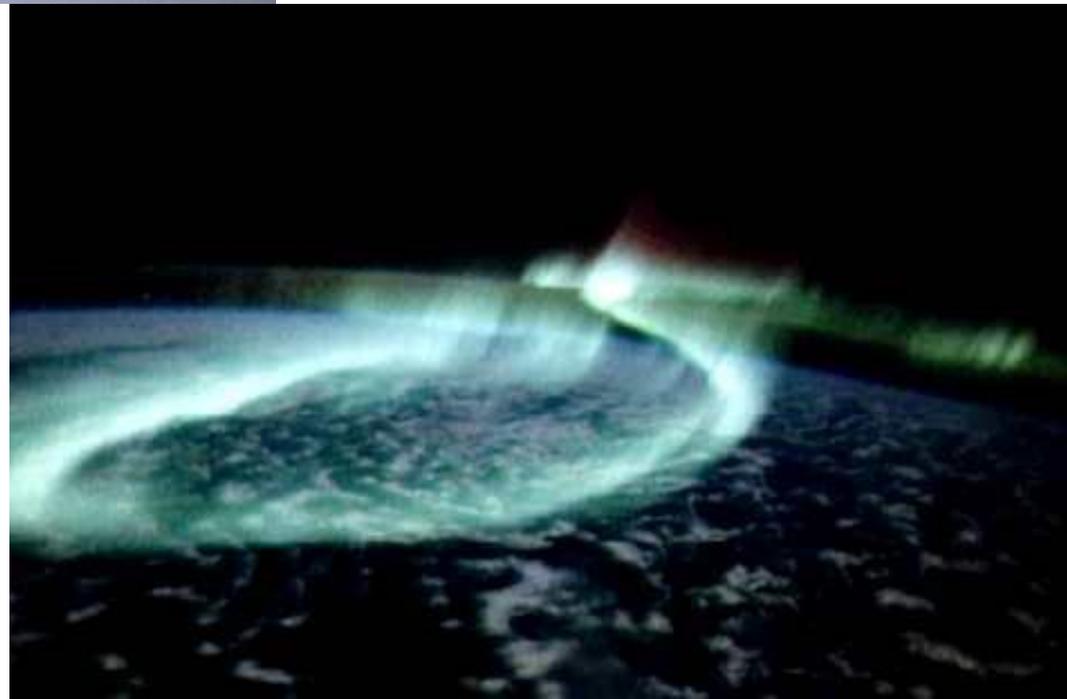


Электроны возбуждают атомы **азота** и **кислорода**.
Снятие возбуждения происходит путем испускания
оптических фотонов



**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.

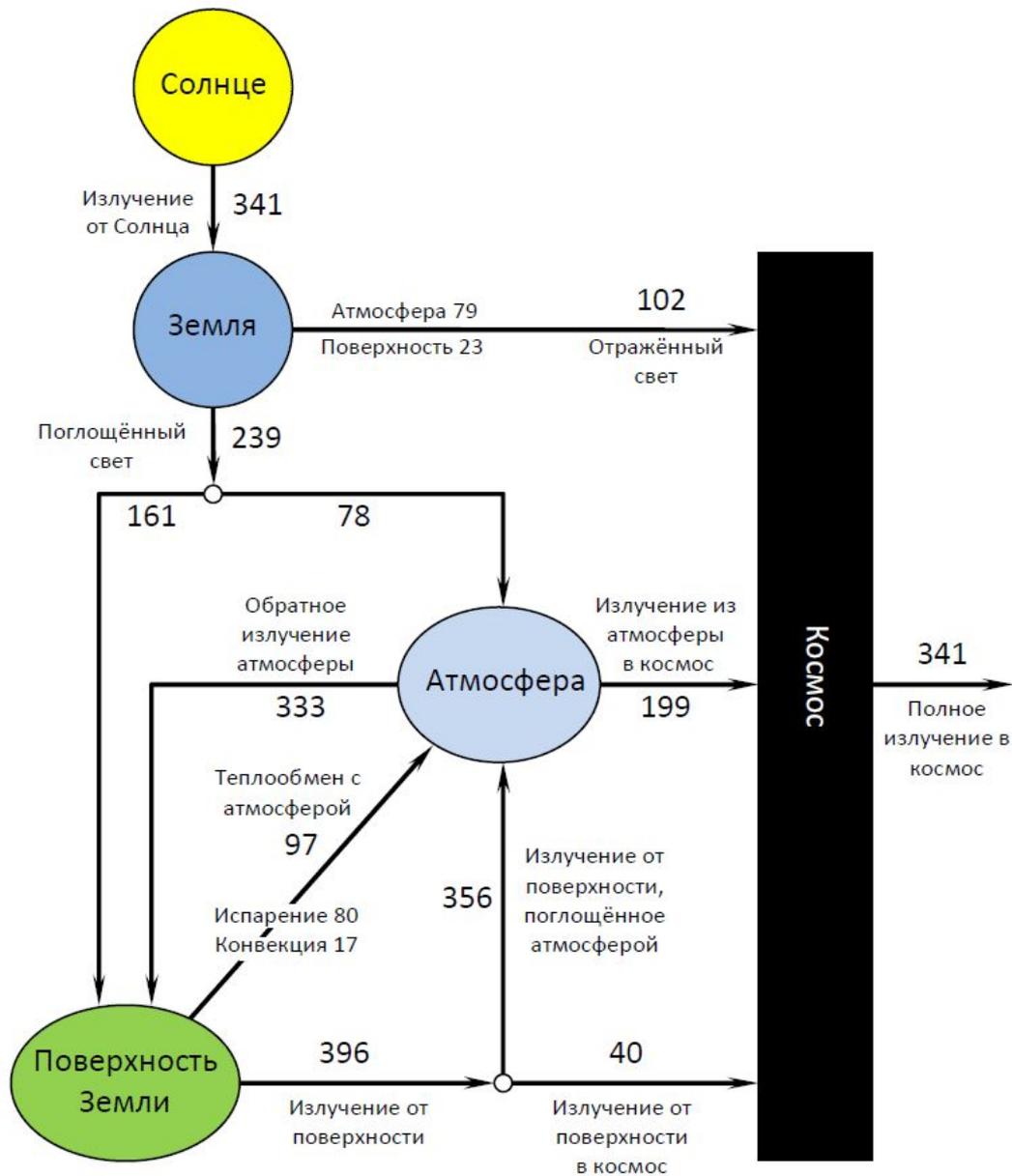
Процесс **фотосинтеза** является основой растительного мира, который обеспечивает существование животного мира, в т.ч. **человечества**.

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**.

.....

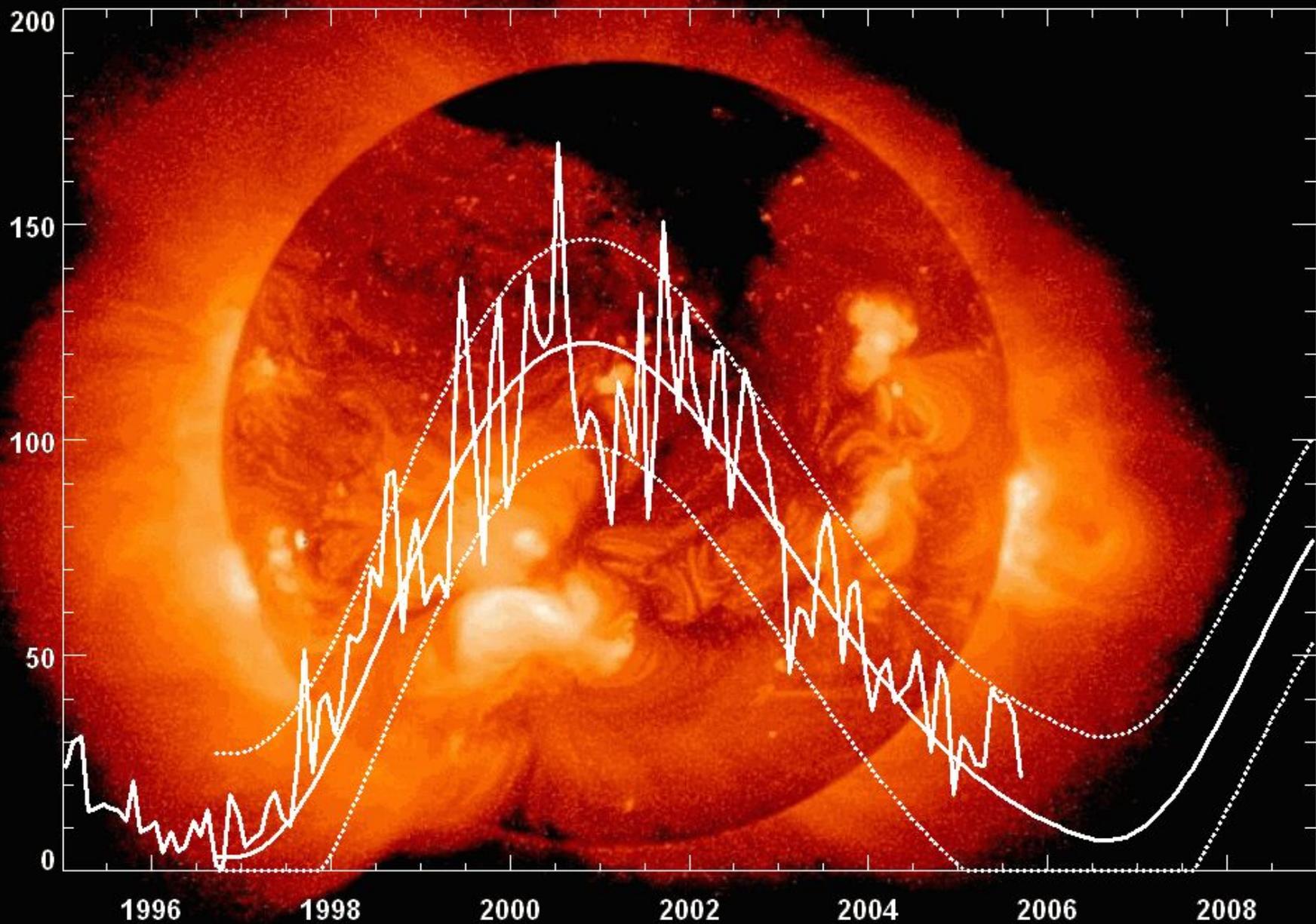


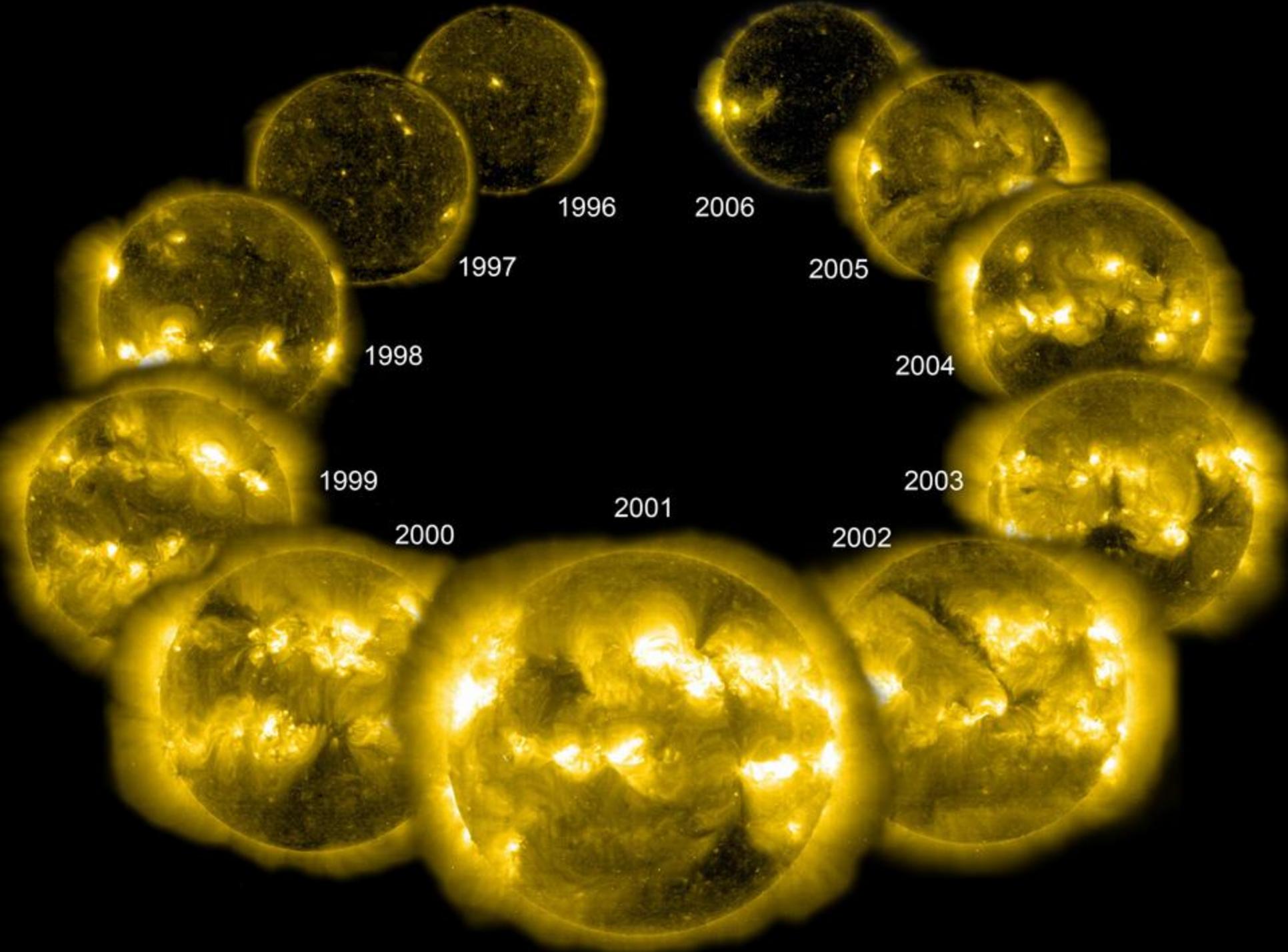


Тепловой баланс Земли (март 2000 – май 2004)

Все тепловые потоки в $\text{Вт}/\text{м}^2$, 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

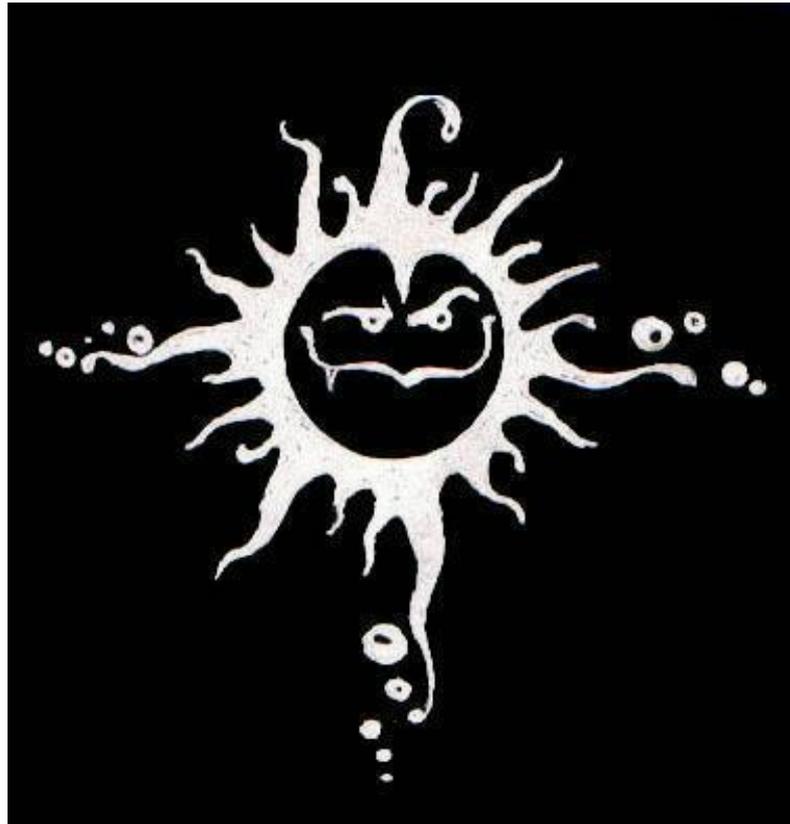
2000

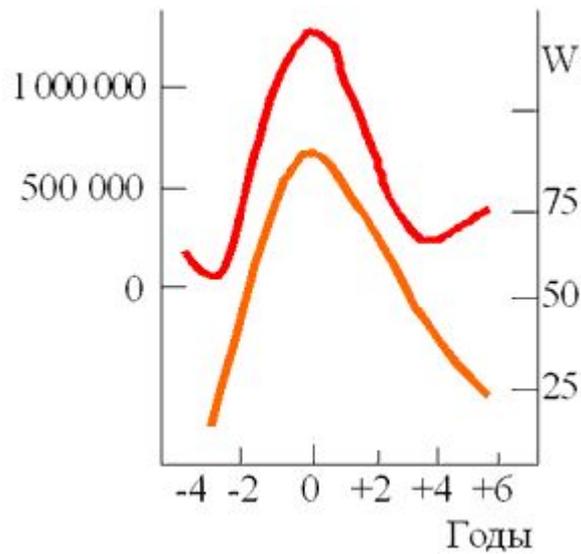
2001

2002

Минздрав предупреждает:

Повышенная солнечная активность опасна
для человеческого здоровья





Циклы солнечной активности

