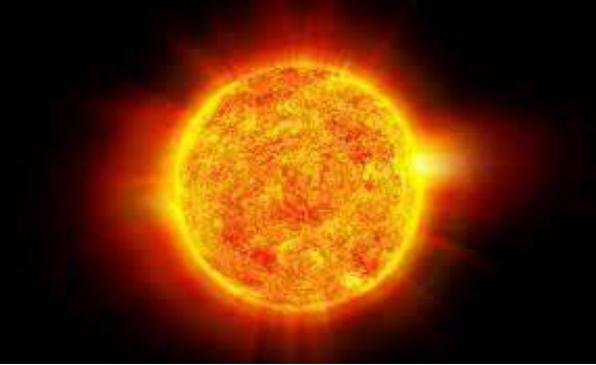




СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ И ЕЕ ТРАНСФОРМАЦИЯ

ЛЕКЦИЯ 6



Солнце – уникальный источник энергии. Наша жизнь зависит от его тепла и света.

Солнце представляет собой газовый шар радиусом 695 300 км с температурой излучающей поверхности около 6000 °К.

Радиус Солнца в 109 раз больше радиуса Земли (6378 км).

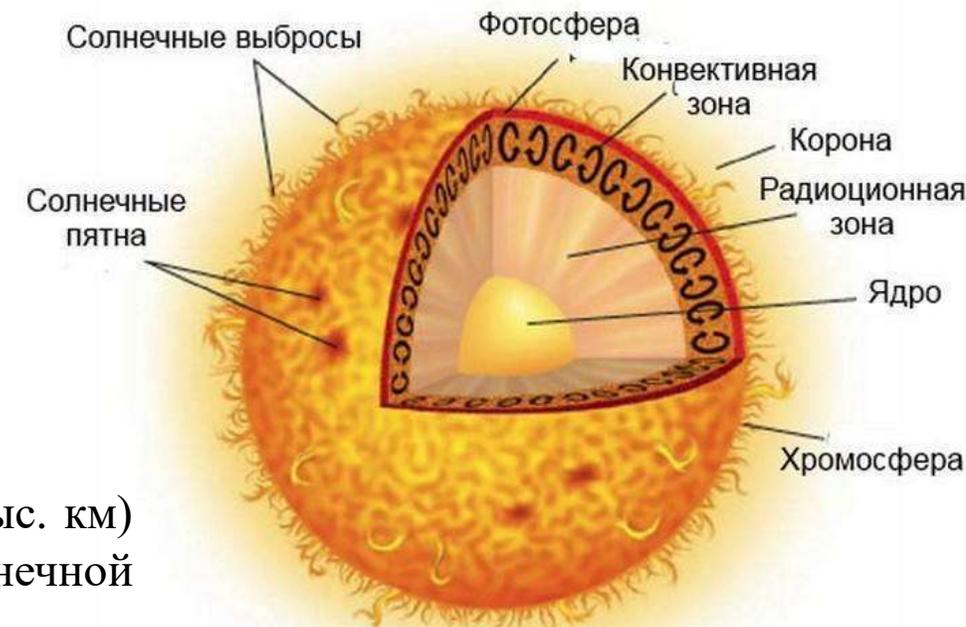
Плазма Солнца в основном находится в состоянии лучистого равновесия; энергия, выделяющаяся в результате ядерного синтеза, передается во внешние слои светила только путем переизлучения.

Зона лучистого равновесия охватывает недра Солнца на расстоянии до **80 % его радиуса**, считая от центра.

Далее и до поверхности (**20 % радиуса**) простирается зона конвекции, где большую роль играют процессы переноса вещества. Именно в **конвективном слое**, формируются все процессы, обуславливающие **нестационарность солнечного излучения**.

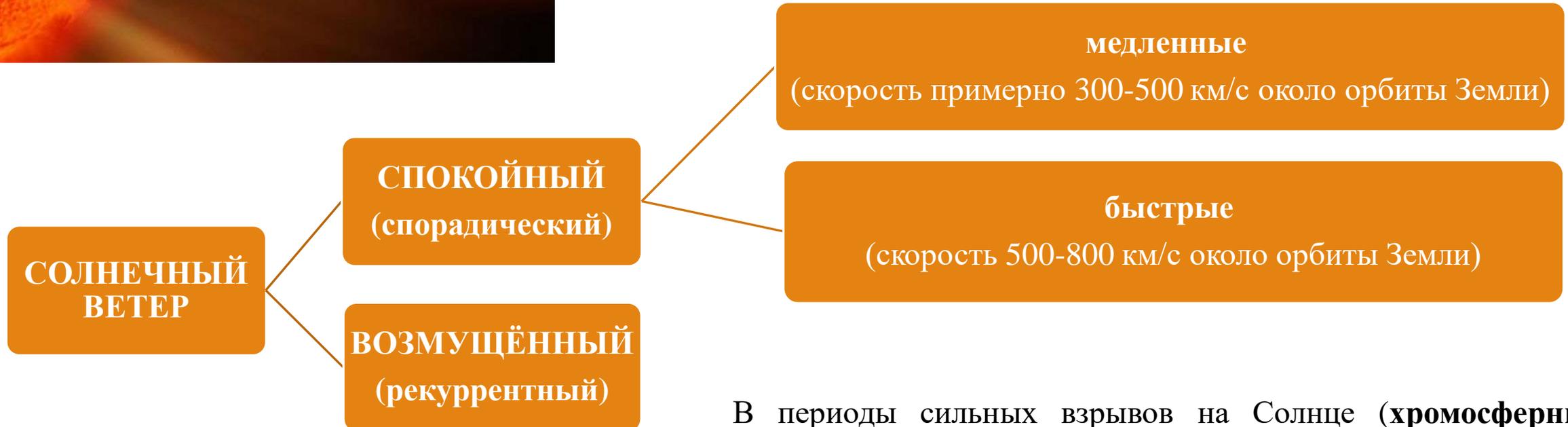
Самый верхний слой конвективной зоны толщиной около 400 км называется **фотосферой** (0,06% радиуса Солнца). Это видимая поверхность Солнца, именно она испускает электромагнитное излучение: УФР, видимое, инфра- красное (ИК).

Выше расположены два слоя солнечной атмосферы: хромосфера (5-10 тыс. км) и корона (до нескольких десятков тыс. км в зависимости от состояния солнечной активности).





Хромосфера и, особенно корона, являются источником корпускулярного солнечного излучения - потока элементарных частиц (протонов, электронов, альфа-частиц). Этот поток называется **солнечным ветром**.



Интенсивность солнечного ветра зависит от изменений солнечной активности.

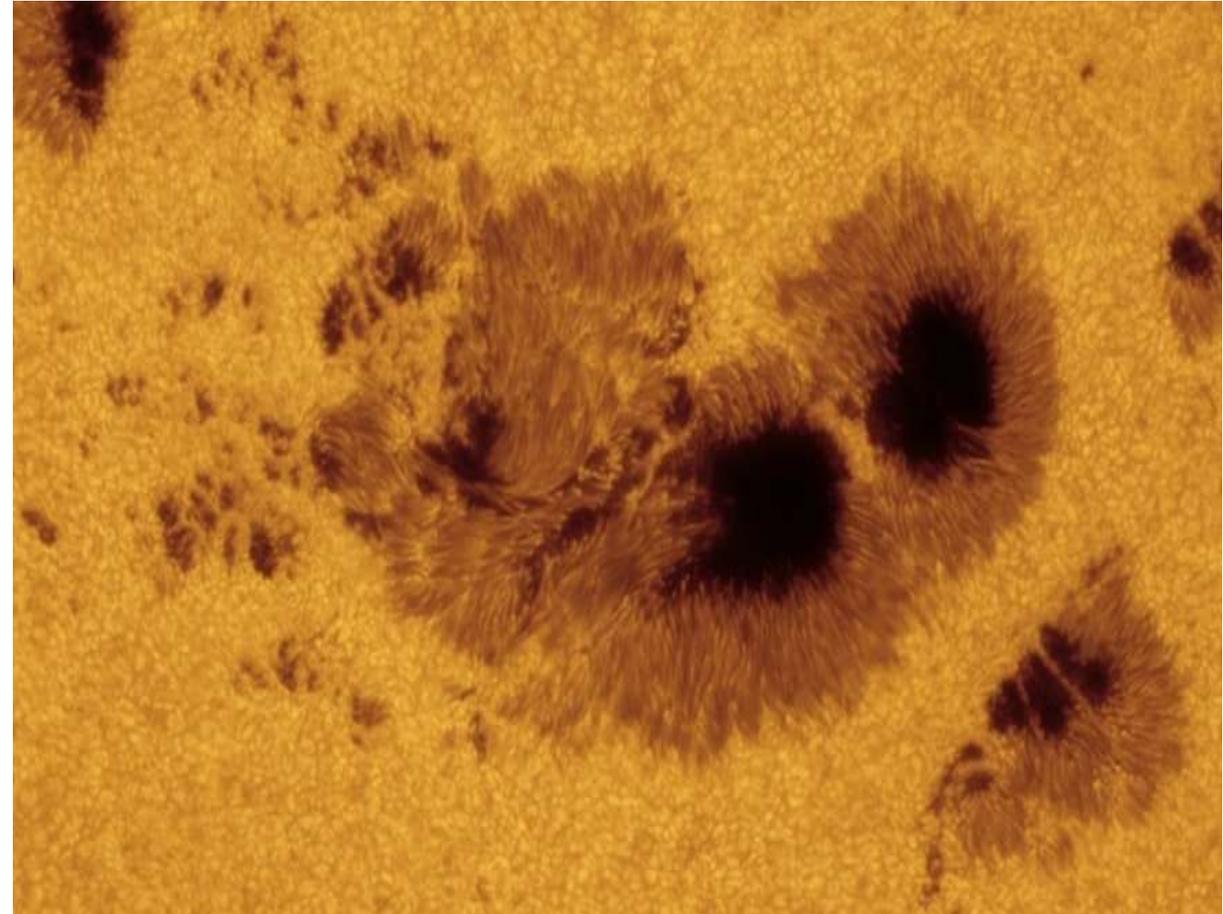
В периоды сильных взрывов на Солнце (**хромосферные вспышки**) солнечный ветер становится существенно **неоднородным**: из активных областей вырываются **высокоскоростные корпускулярные потоки**, плотность и энергия которых намного превосходят аналогичные характеристики «спокойного» солнечного ветра.

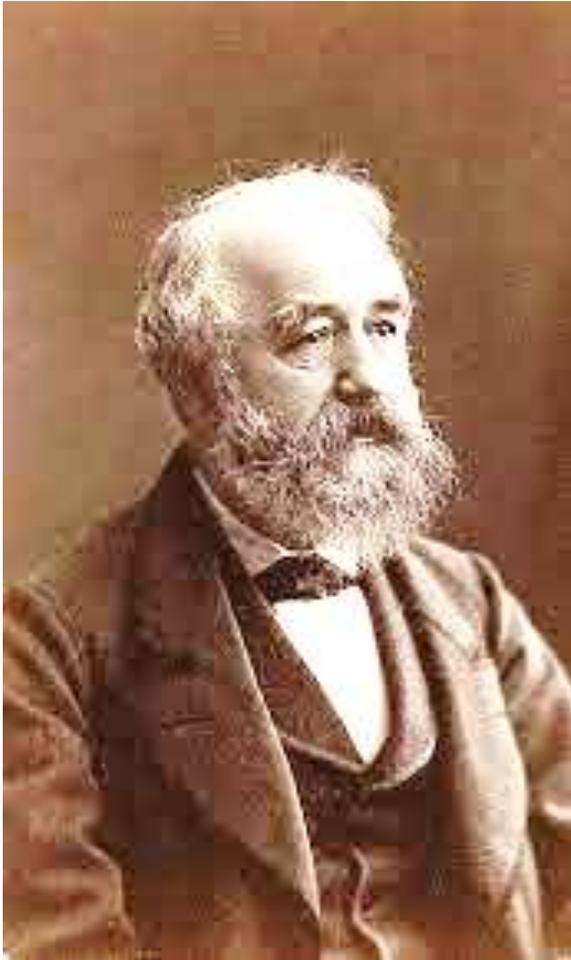
Солнечная активность - комплекс явлений и процессов, связанных с образованием и распадом в солнечной атмосфере сильных магнитных полей.

Показателем солнечной активности является количество солнечных пятен - участков фотосферы с **пониженной температурой** (4000 К против 6000 К обычной температуры фотосферы).

Размеры **молодых пятен** в среднем составляют **1500-3000 км**, старые могут простираться на **40 000 км**.

Среднее время существования пятен - **15 суток**, но встречаются и «долгожители», существующие до **50 суток**. Очень часто пятна объединяются в группы.





Швейцарский астроном
Рудольф Вольф

Для численной характеристики солнечной активности еще в XVIII в. был предложен показатель под названием Число Вольфа, связанный с количеством солнечных пятен.

Важный показатель для предсказания распространения радиоволн с отражением от ионосферы. Популярно в разного рода метеорологических прогнозах.

Число Вольфа, иначе называемое относительным числом солнечных пятен, измеряется как

$$W = R (10g + f) ,$$

где f – полное число пятен, g – число групп пятен, R – множитель, нормирующий отсчеты разных обсерваторий при осреднении по всему земному шару.



За международную систему приняты числа Вольфа, которые в 1849 году начала публиковать Цюрихская обсерватория, и для которых коэффициент $R=1$.

В настоящее время сводка всех наблюдений солнечных пятен и определение среднемесячных и среднегодовых значений чисел Вольфа производится в Центре анализа данных по влиянию Солнца (Бельгия).

Швейцарским астрономом М. Вальдмайером получена следующая эмпирическая зависимость между

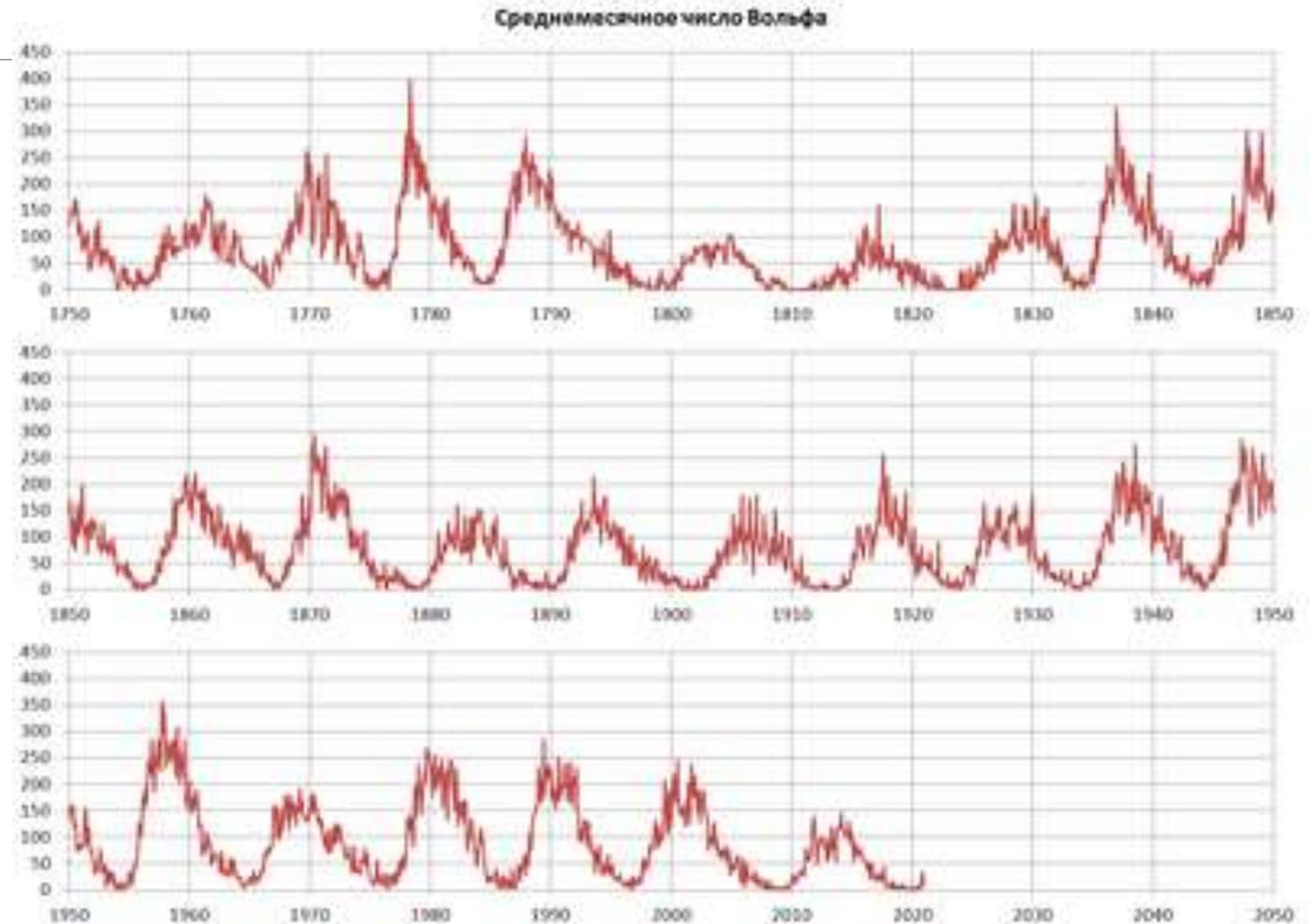
среднегодовыми значениями числа Вольфа и суммарной площадью солнечных пятен: $F = 16,7 W$,

где F — площадь пятен в миллионных долях полусферы.

В статистике пятнообразовательной деятельности используют **правило Вальдмайера: высокие циклы обладают крутыми и короткими ветвями роста, а низкие - пологими и длинными.**

Вольф установил, что числа солнечных пятен испытывают циклические изменения со средним периодом **11 лет** (закон Швабе-Вольфа), при этом периоды отдельных циклов колеблются **от 7 до 14 лет.**

11-летний цикл солнечной активности был сначала открыт как цикл числа солнечных пятен. Циклам присваивается номер по цюрихской нумерации. Цикл с номером один начался в 1749 году.



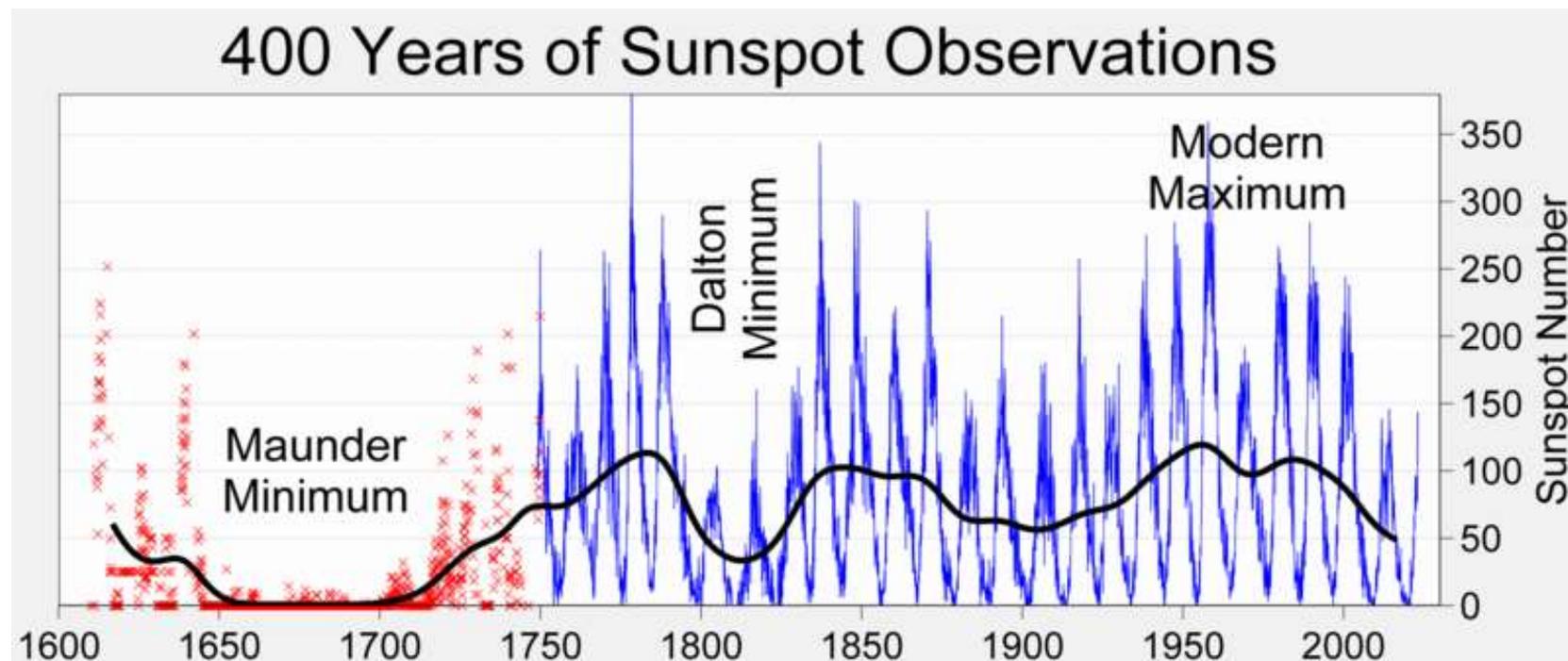
Важный показатель для предсказания распространения радиоволн с отражением от ионосферы

Минимум Маундера - период долговременного уменьшения количества солнечных пятен примерно с 1645 по 1715 годы.

Получил название по имени английского астронома *Эдварда Маундера*, обнаружившего это явление при изучении архивов наблюдения за Солнцем.

Минимум Маундера совпадает по времени с наиболее холодной фазой глобального похолодания климата, отмечавшегося в течение XIV-XIX веков (малый ледниковый период).

Однако непосредственная связь между двумя этими событиями оспаривается - многие учёные считают, что незначительный уровень падения солнечной активности не позволяет объяснить глобальное похолодание только этой причиной.



ЦИКЛЫ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

Сглаживание выполняется с использованием традиционного алгоритма сглаживания **SIDC**.

При использовании этого алгоритма, если рассматриваемый месяц обозначен как месяц 0, средневзвешенное значение формируется из месяцев от -6 до 6, где месяцам от -5 до 5 присваиваются веса 1, а месяцам -6 и 6 присваиваются веса 0,5.

Начало 25-го цикла солнечной активности пришлось на декабрь 2019 года.

Это делает закончившийся **24-й цикл** единственным «11-летним солнечным циклом», который длился почти **ровно 11 лет**.

По прогнозам ученых, пик солнечной активности будет достигнут в июле 2025 г.

Мировой Центр данных по солнечно-земной физике
http://www.wdcb.ru/stp/solar/solar_cycles.ru.html

Цикл	Начало	Конец	Продолжительность (лет)	Максимум сглаженных среднемесячных чисел Вольфа (maximum monthly SSN)	Минимум сглаженных среднемесячных чисел Вольфа (minimum monthly SSN), конец цикла	Количество дней без пятен
1	март 1755	июнь 1766	11,3	86,5	11,2	
2	июнь 1766	июнь 1775	9,0	115,8	7,2	
3	июнь 1775	сентябрь 1784	9,3	158,5	9,5	
4	сентябрь 1784	май 1798	13,7	141,1	3,2	
5	май 1798	декабрь 1810	12,6	49,2	0,0	
6	декабрь 1810	май 1823	12,4	48,7	0,1	
7	май 1823	ноябрь 1833	10,5	71,5	7,3	
8	ноябрь 1833	июль 1843	9,8	146,9	10,6	
9	июль 1843	декабрь 1855	12,4	131,9	3,2	≈654
10	декабрь 1855	март 1867	11,3	97,3	5,2	≈406
11	март 1867	декабрь 1878	11,8	140,3	2,2	≈1028
12	декабрь 1878	март 1890	11,3	74,6	5,0	≈736
13	март 1890	февраль 1902	11,9	87,9 (январь 1894)	2,7	≈938
14	февраль 1902	август 1913	11,5	64,2 (февраль 1906)	1,5	≈1019
15	август 1913	август 1923	10,0	105,4 (август 1917)	5,6	534
16	август 1923	сентябрь 1933	10,1	78,1 (апрель 1928)	3,5	568
17	сентябрь 1933	февраль 1944	10,4	119,2 (апрель 1937)	7,7	269
18	февраль 1944	апрель 1954	10,2	151,8 (май 1947)	3,4	446
19	апрель 1954	октябрь 1964	10,5	201,3 (март 1958)	9,6	227
20	октябрь 1964	июнь 1976	11,7	110,6 (ноябрь 1968)	12,2	272
21	июнь 1976	сентябрь 1986	10,3	164,5 (декабрь 1979)	12,3	273
22	сентябрь 1986	май 1996	9,7	158,5 (июль 1989)	8,0	309
23	май 1996	январь 2009	12,6	120,8 (март 2000)	2,2	820
24	январь 2009	декабрь 2019	11,0	116	1,8	914
25	декабрь 2019					219 (1 декабря 2020)
Среднее			11,1	115,4	5,3	

Количество солнечных пятен



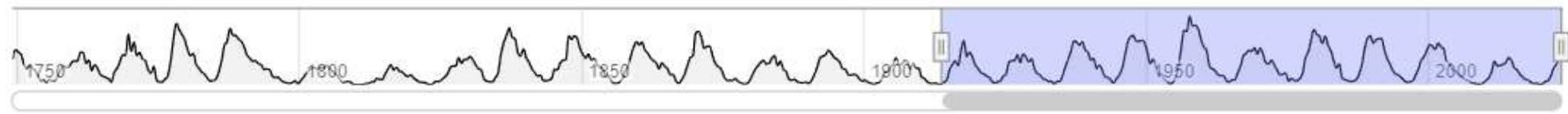
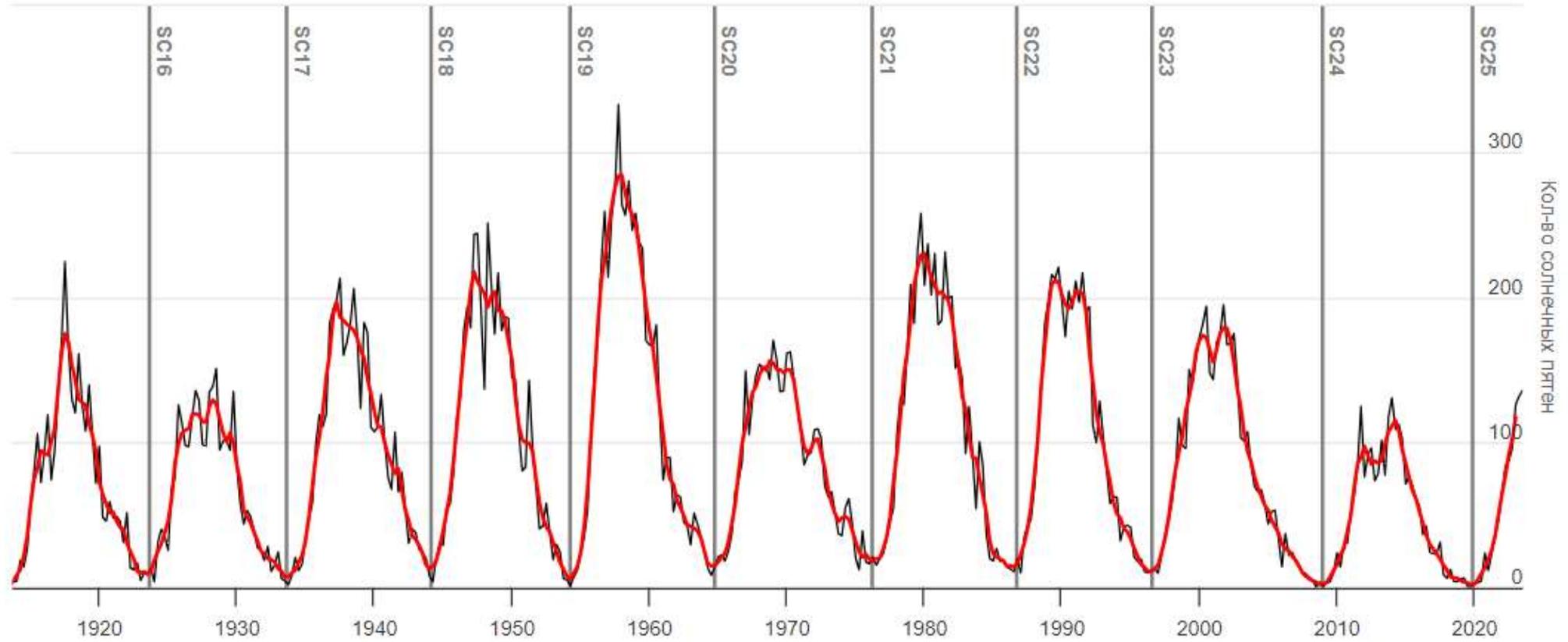
Zoom

3 цикла

5 цикла

10 цикла

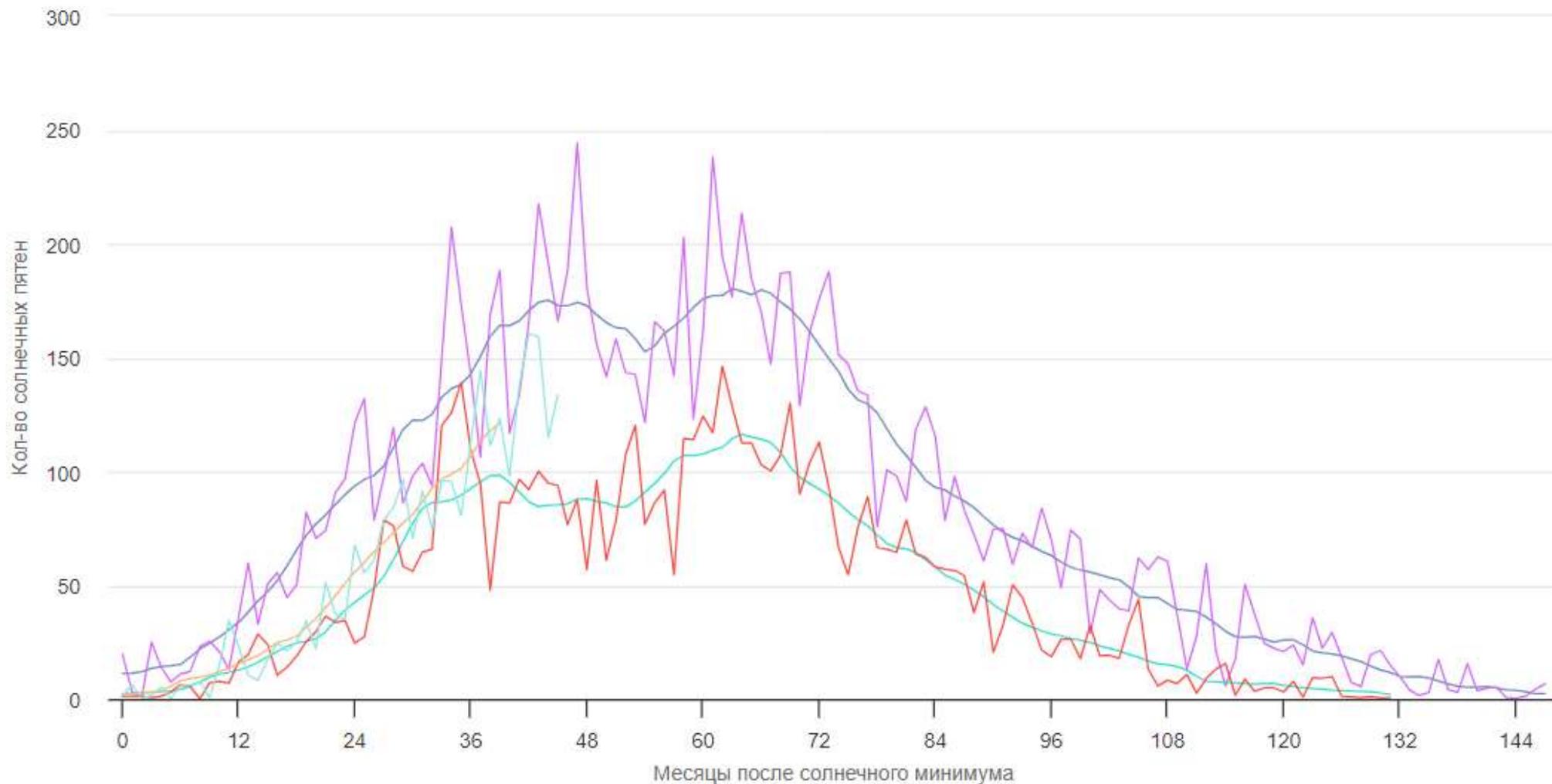
1 Сен. 1913 → 1 Сен. 2023



— Среднее количество солнечных пятен — Среднее количество солнечных пятен за 13 месяцев

WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels

Сравнение солнечного цикла



- SC1
- SC2
- SC3
- SC4
- SC5
- SC6
- SC7
- SC8
- SC9
- SC10
- SC11
- SC12
- SC13
- SC14
- SC15
- SC16
- SC17
- SC18
- SC19
- SC20
- SC21
- SC22
- SC23
- SC24
- SC25

Солнечно-земные связи - реакция Земли на изменение солнечной активности

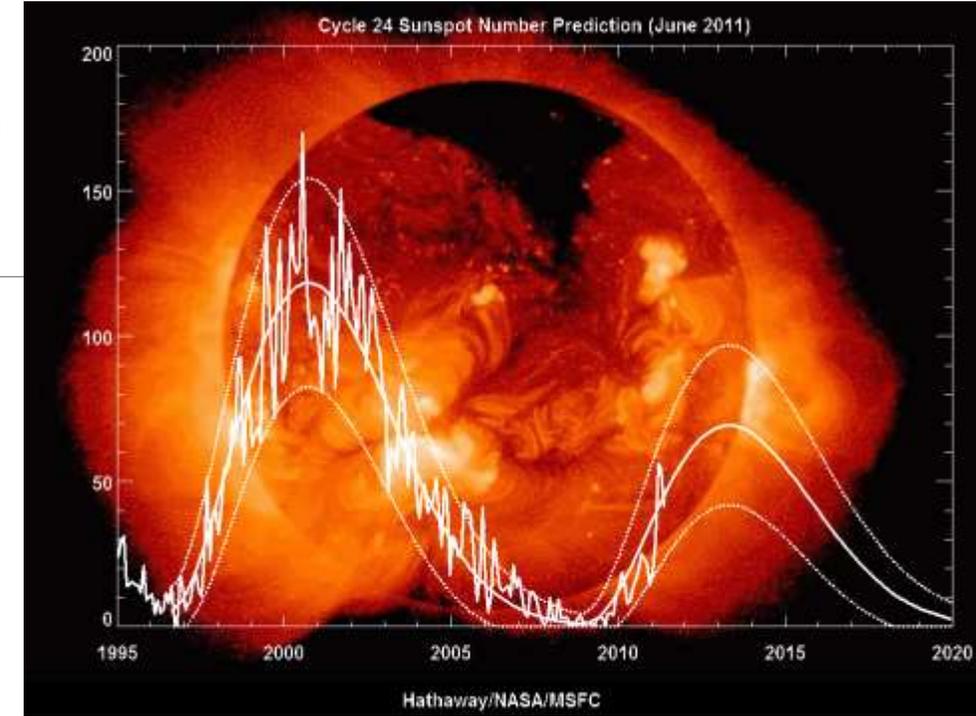
Основные циклы:

- ✓ цикл Швабе (Швабе - Вольфа), продолжительностью 11 лет.;
- ✓ цикл Хейла, продолжительностью 22 года;
- ✓ цикл Глайсберга, продолжительностью 80-130 лет;
- ✓ цикл Холлстатта, продолжительностью 2300 лет.

В периоды повышенной солнечной активности **меняется и спектральный состав электромагнитного излучения Солнца**: существенно возрастает интенсивность ультрафиолетовой радиации, которая влияет на концентрацию озона и тепловой баланс в атмосфере.

Весь спектр излучения Солнца принято делить на ряд областей:

- 1) гамма-лучи ($\lambda < 10^{-5}$ мкм),
- 2) рентгеновское излучение ($10^{-5} < \lambda < 10^{-2}$ мкм),
- 3) ультрафиолетовая радиация ($0,01 < \lambda < 0,39$ мкм),
- 4) видимый свет ($0,39 < \lambda < 0,76$ мкм),
- 5) инфракрасная радиация ($0,76 < \lambda < 3000$ мкм),
- 6) радиоволновое излучение ($\lambda > 0,3$ см).



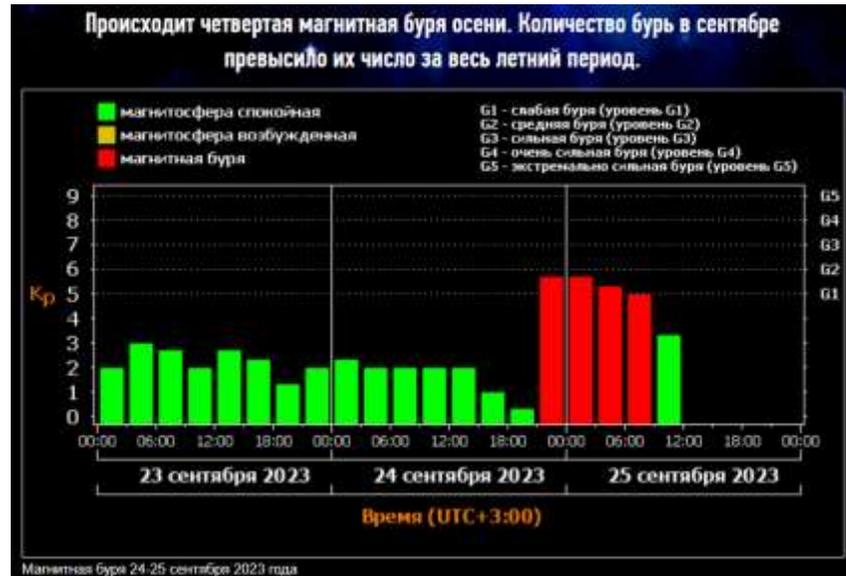
Оптическое окна (0,29-2,4 мкм), включает видимый, близкие ультрафиолетовый и инфракрасный участки спектра.



Высокоскоростные потоки солнечной плазмы имеют **собственные магнитные поля**, они вызывают на Земле **магнитные бури** - возмущения геомагнитного поля.

Интенсивность магнитных бурь оценивается специальным индексом **Kp** (глобальный планетарный индекс геомагнитной активности) - средняя напряженность магнитного поля у поверхности земли в течение 3-часового интервала, выраженная в баллах:

0 - совершенно спокойные условия, 9 - очень сильное возмущение - экстремальный геомагнитный шторм.



Kp-индекс	G-scale	Геомагнитная широта	Авроральная активность	Average frequency
0	G0	66° или выше	Тихо	
1	G0	64.5°	Тихо	
2	G0	62.4°	Тихо	
3	G0	60.4°	Слабая активность	
4	G0	58.3°	Активно	
5	G1	56.3°	Малый шторм	1700 per cycle (900 days per cycle)
6	G2	54.2°	Умеренный шторм	600 per cycle (360 days per cycle)
7	G3	52.2°	Сильный шторм	200 per cycle (130 days per cycle)
8	G4	50.1°	Severe storm	100 per cycle (60 days per cycle)
9	G5	48° или ниже	Экстремальный шторм	4 per cycle (4 days per cycle)

Четвертая магнитная буря осени 2023 г.

Количество бурь в сентябре превысило их число за весь летний период.

Взаимодействие частиц солнечного ветра с ионосферой порождают **полярные сияния**.

