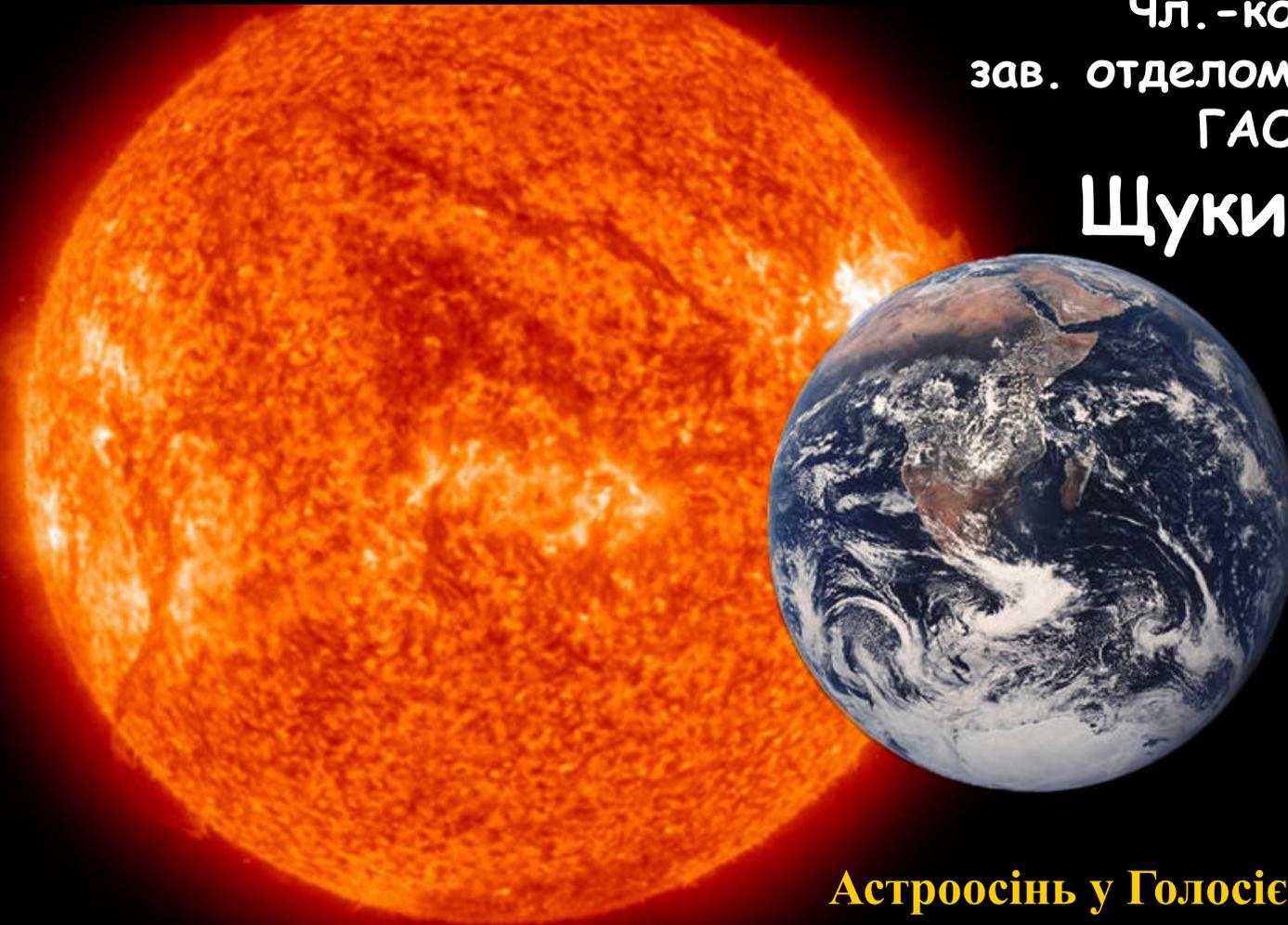


# Солнечная активность и ее влияние на Землю

Чл.-корр. НАНУ  
зав. отделом физики Солнца  
ГАО НАНУ  
Щукина Н.Г.

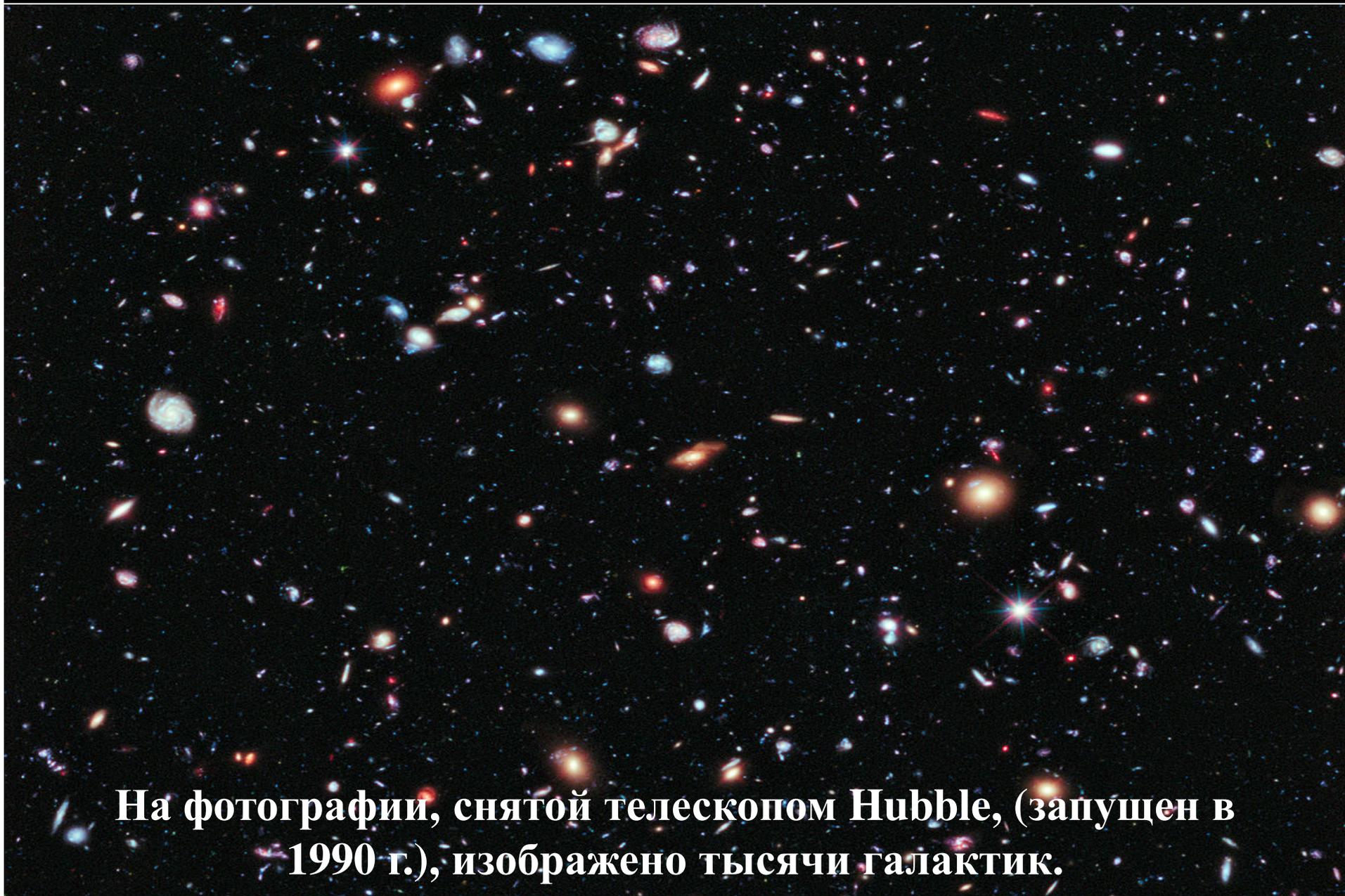


Астроосінь у Голосієві, 25.10.2018

# Содержание

- ❁ **Эволюция Солнца**
- ❁ **Циклы солнечной активности**
- ❁ **Космическая погода и ее влияние на Землю**
- ❁ **Наземные и космические наблюдения Солнца**

# Наш дом – Вселенная



На фотографии, снятой телескопом Hubble, (запущен в 1990 г.), изображено тысячи галактик.



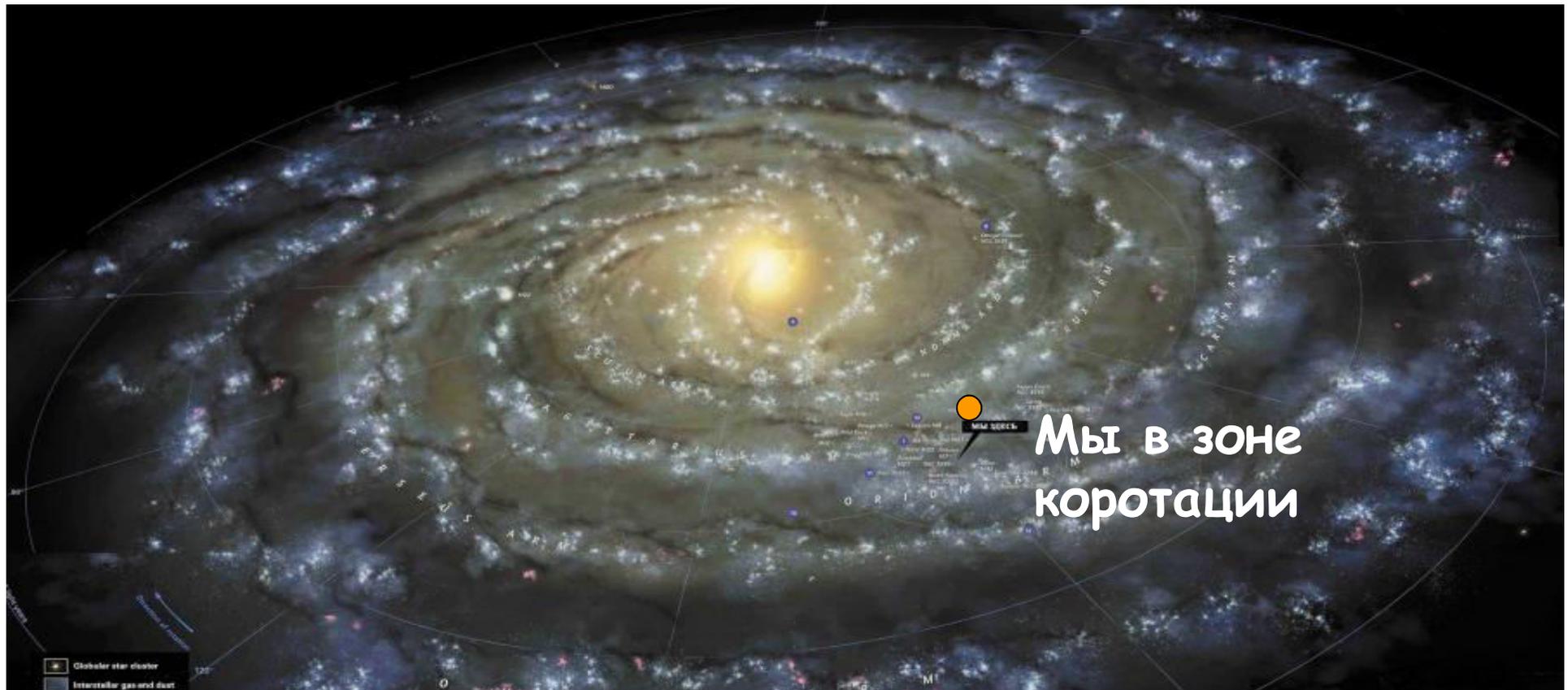
# Наша Галактика

**Период вращения Солнца + Солнечной системы  
вокруг центра Галактики ~250 млн. лет.**

**Скорость ~ 220 км/сек.**

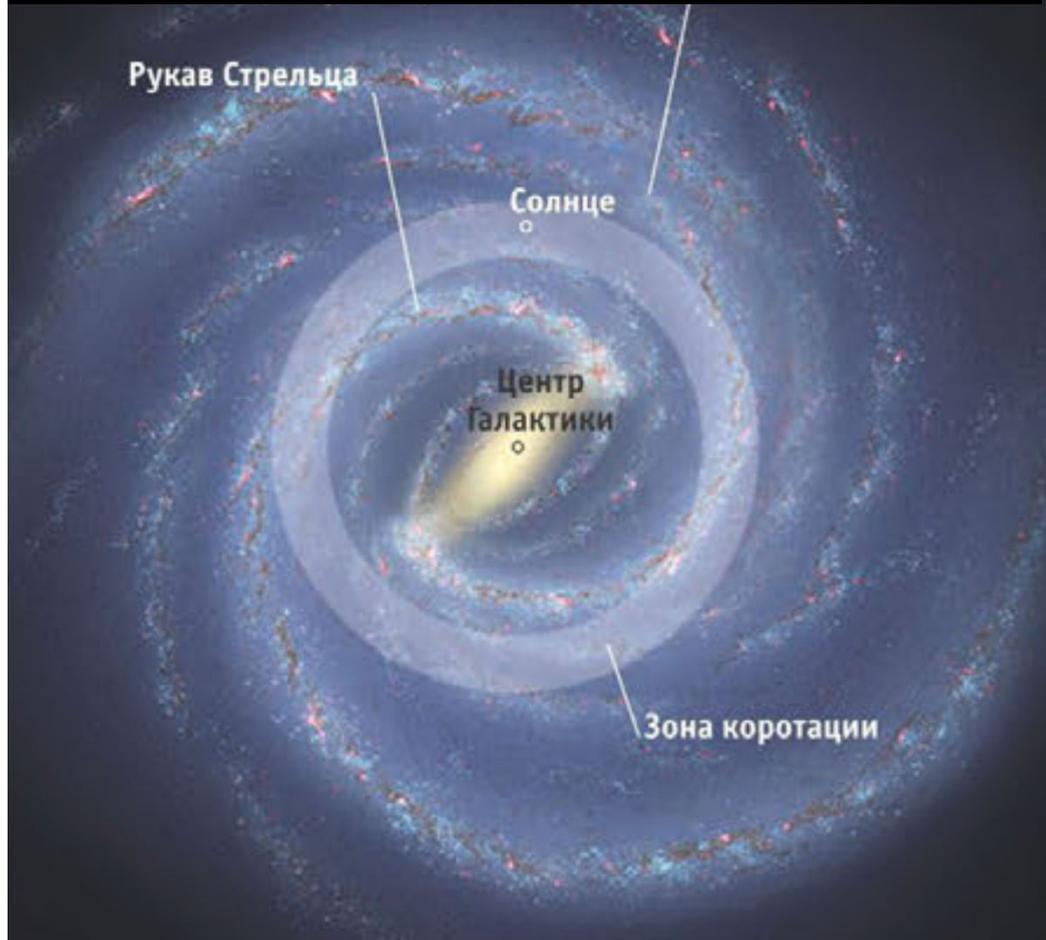
**Радиус орбиты Солнца ~30 тысяч световых лет.**

**Количество оборотов: ~30.**



Наша Галактика – Млечный путь – система из сотни миллиардов звезд. Это - дискообразная галактика: **спиральные рукава** с яркими молодыми звездами вращаются с постоянной угловой скоростью; **вещество диска галактики** – звезды низкой светимости, межзвездный газ между рукавами, имеют угловую скорость, убывающую с удалением от центра. Зона, где скорости вращения совпадают, называется **зоной коротации**.

## Солнце дрейфует между спиральными рукавами Стрельца и Персея.



Сейчас Солнце находится  
вблизи зоны коротации.

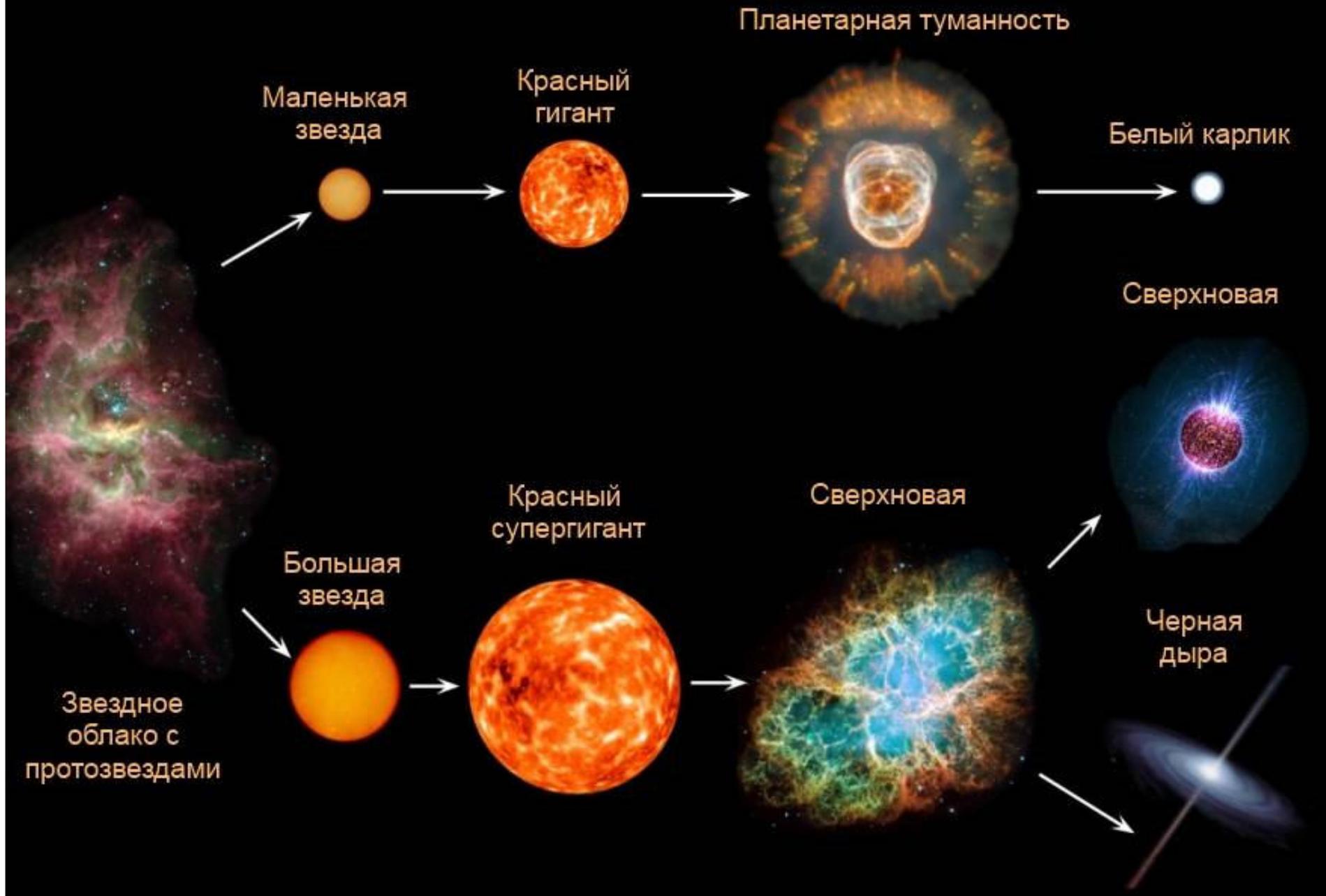
Ширина зоны ~800 св.лет,  
радиус 30000 св. лет.

Здесь нет ударных волн, редки  
вспышки сверхновых. Именно  
здесь на планетах около звезд  
возможно формирование  
органических молекул, а затем  
и возникновение жизни.

При пересечении рукава Персея Солнце окажется в области, где находятся сверхновые. При их взрыве выбрасываются космические лучи, губительные для биосферы Земли. Время до вхождения Солнца в рукав Персея от ~1.5 до 3.3 млрд. лет. **Это – максимальное время жизни земной цивилизации.**

# **Эволюционные вариации Солнца**

# Эволюция звезды



**НАЧАЛО: Солнце образовалось из  
газово-пылевой туманности ~4.6 млрд.  
лет назад**

**Газово-пылевая туманность Киля (фото телескопа Hubble)**



# СЕГОДНЯ

**Желтый карлик (12 млрд.лет):**  
горение H в ядре. Светимость  
растет: 1% /100 млн.лет

# Эволюционные вариации Солнца:

- **Красный гигант** (сотни млн. лет):  
горение He в ядре, радиус орбиты Земли,  
T=50 000 K
- **Гелиевые вспышки**: (сотни млн. лет):  
горение He в оболочке

**КОНЕЦ: планетарная туманность +  
белый карлик, радиус Земли,  $T=200\ 000\ K$**



**Шкала времени: 12-13 млрд. лет**

**Время жизни земной цивилизации:**

**Примерно через 1 млрд. лет светимость  
Солнца вырастет на 10%:**

**Жизнь на Земле может сохраниться  
только в океанах**

# Вариации Солнца

Шкала времени: 100 тыс. - 100 млн. лет

**Основные ледниковые периоды Земли ?**



Земля во время последнего ледникового периода 110 000 -  
11700 лет назад

# **Вариации солнечной активности на меньших временных шкалах**

 **Вековые вариации**

 **11-летний цикл**

# Вековые вариации Солнца

**Шкала времени: около 100 лет или больше:**

**циклы с периодами 80-90, 210, 2300 и 6000 лет**

**18 минимумов активности  
Солнца за последние 8000 лет**

# Параметры солнечной активности

**Солнечная постоянная  $S$  (irradiance):** поток солнечной радиации, приходящий на Землю:

$$L = 4 \pi a^2 S, \text{ а – астрономическая единица}$$

**Число Вольфа  $W$**  (относительное число пятен на Солнце):

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

$f$  – количество наблюдаемых пятен,

$g$  – количество наблюдаемых групп пятен,

$k$  – нормировочный коэффициент

**Содержание радиоактивного изотопа углерода-14 и др. изотопов (бериллий-10), в ледниках и деревьях.**

Поток космических лучей модулируется активностью Солнца: чем слабее его магнитное поле, тем больше космических лучей попадает на Землю, тем больше углерода-14 в атмосфере, тем больше его оказывается в растениях и деревьях.

# Вариации светимости Солнца и числа пятен за 500 лет



Петр I (1672-1725)

Х.И. АБДУСАМАТОВ Солнце диктует климат Земли  
 Санкт-Петербург Издательство "Logos" 2009 рисунок

**Минимумы Маундера, Шпёрера и Дальтона  
совпадают по времени с наиболее холодной  
фазой глобального похолодания климата в  
XIV–XIX вв. (малый ледниковый период).**

**Гренландия покрылась ледниками, с  
острова исчезли поселения викингов.**

**Замёрзли даже южные моря.**

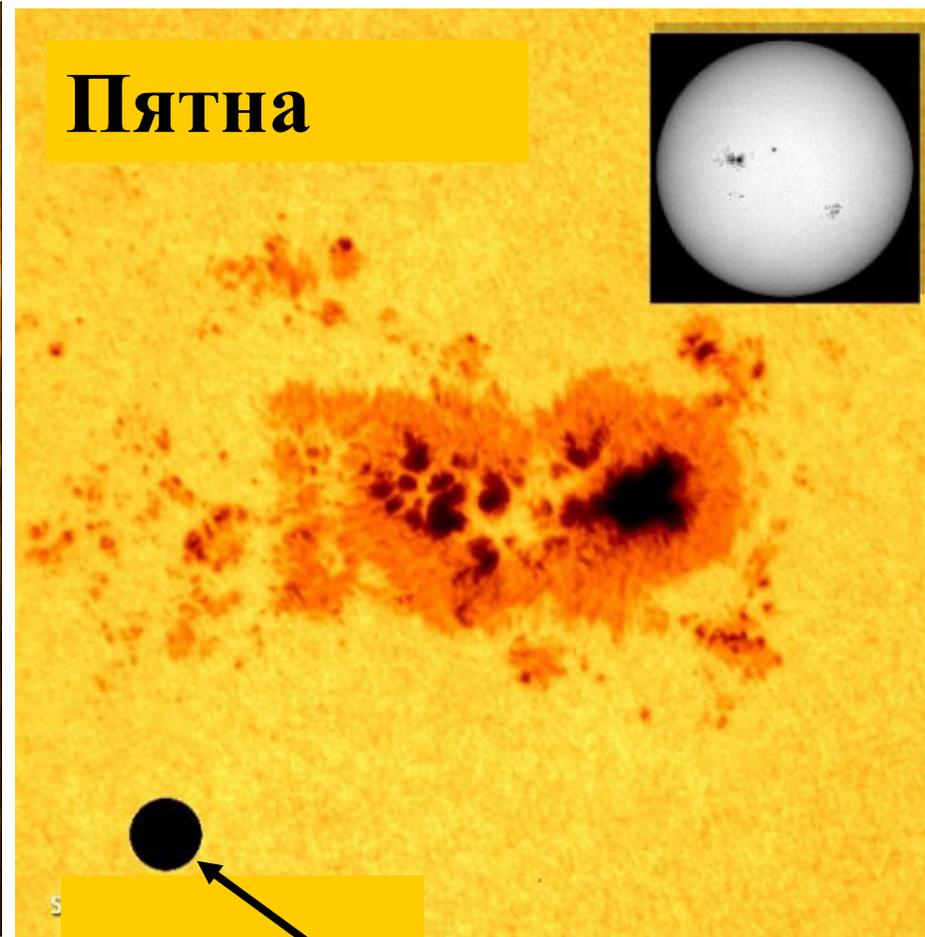
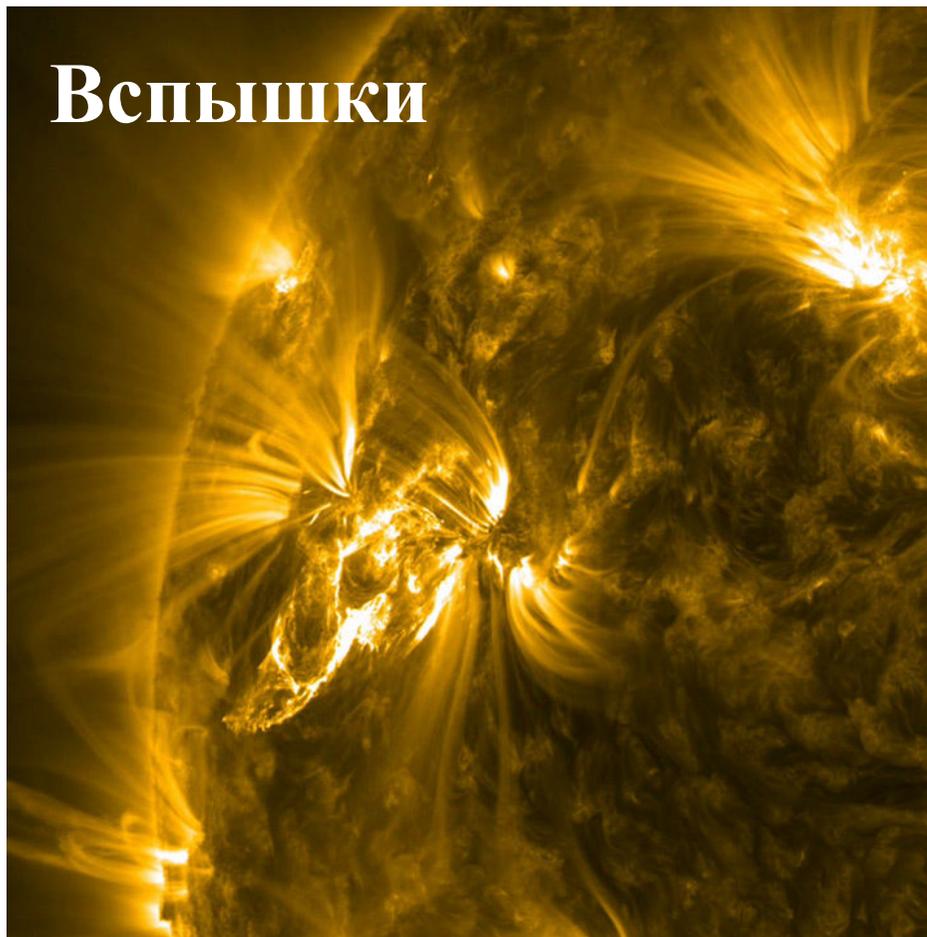
**По Темзе и Дунаю катались на коньках и  
санках.**



**Картина Абрахама Хондиуса «Замерзшая Темза»,  
1677 г. разгар минимума Маундера**

# **11-летний цикл активности Солнца**

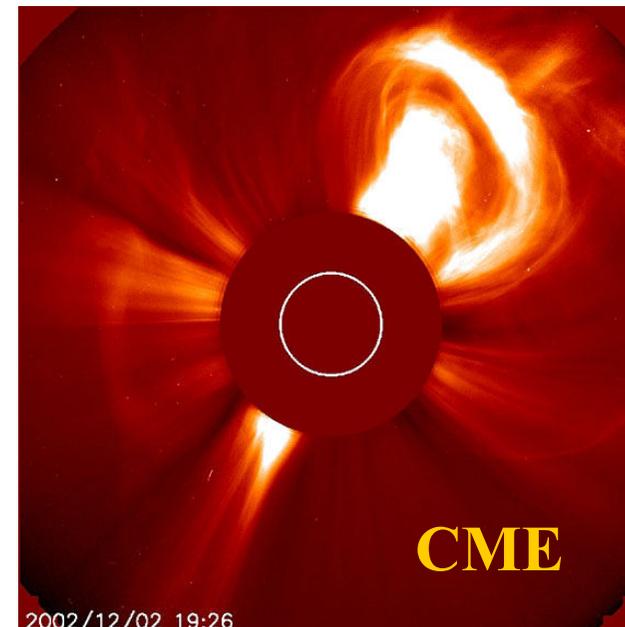
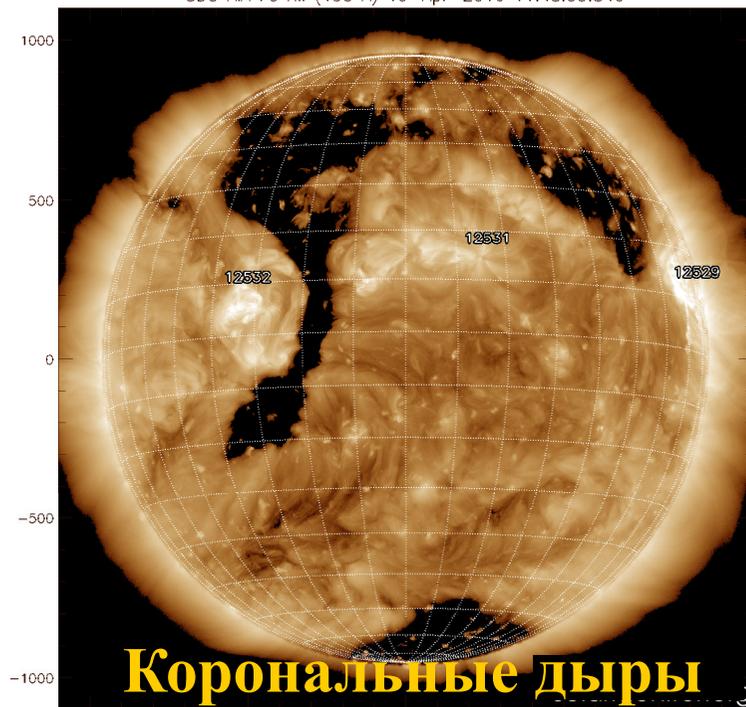
# Проявления 11-летней активности Солнца:



**Земля**

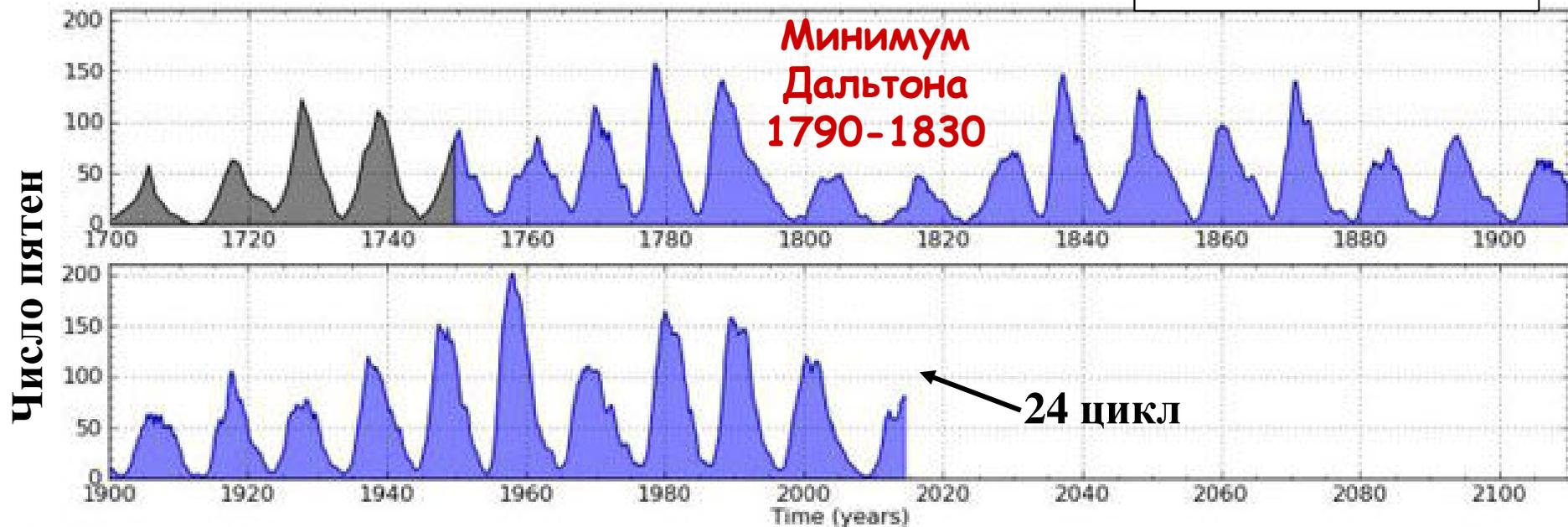
# Проявления 11-летней активности Солнца:

SDO AIA Fe XII (193 Å) 19-Apr-2016 11:48:53.840



# Проявления 11-летней активности Солнца: вариации светимости, радиоизлучения, числа пятен, вспышек

1700 г. – 2015 г.



Уровень активности 24 цикла в 4 раза ниже максимальных значений, зафиксированных за 260 лет наблюдений Солнца.

**Солнечная активность приближается к минимуму, похожему на минимум Дальтона.**

# Солнечные вспышки

- взрывной процесс выделения энергии в атмосфере Солнца.  
Энергия высвобождается в виде:

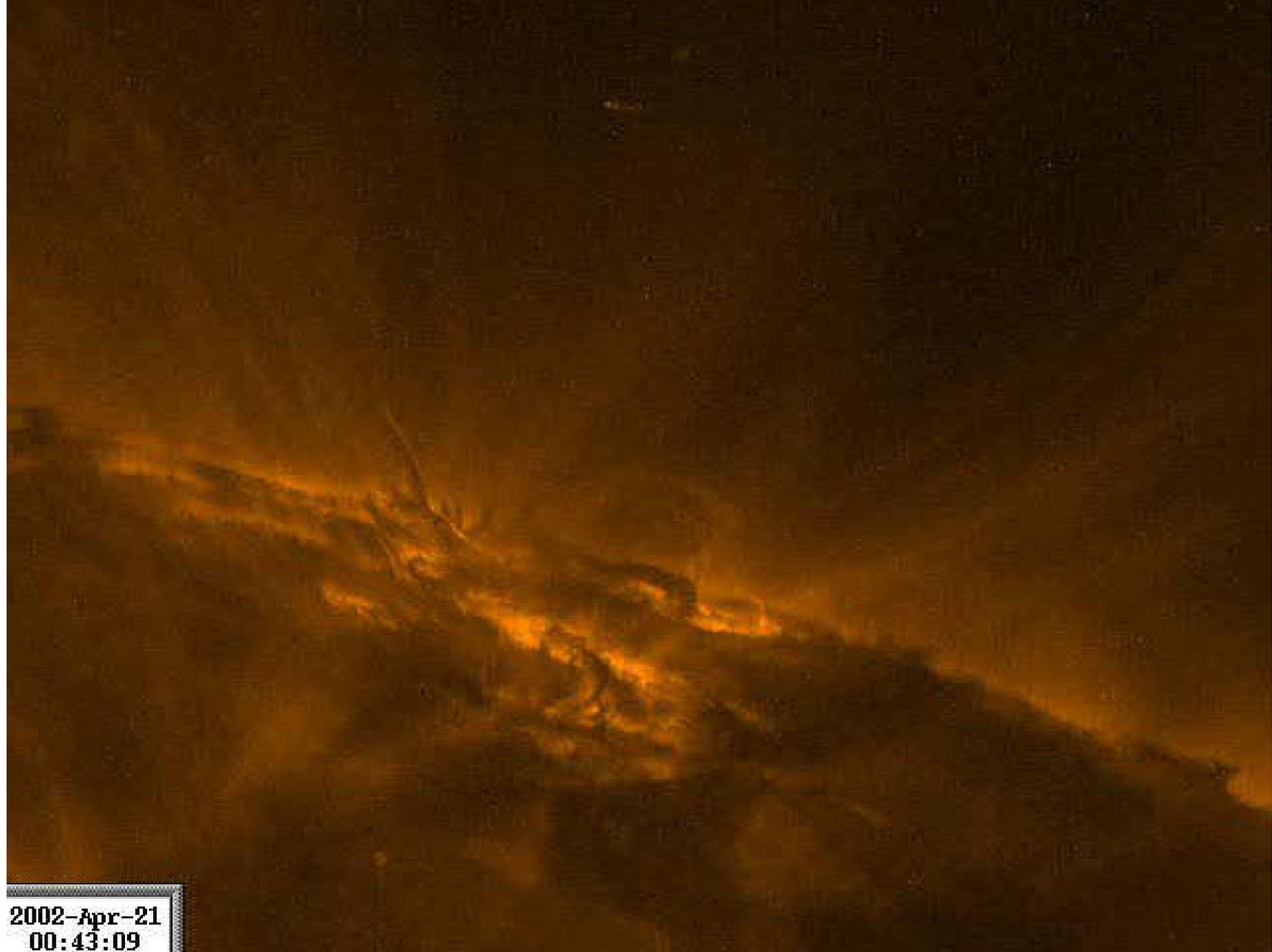
- ✿ электромагнитного излучения (от радио- гамма- и рентген. излучения),
- ✿ высокоэнергетичных частиц (протоны и электроны),
- ✿ выбросов вещества.

В околосолнечное пространство выбрасывается облако плазмы массой до 10 млрд т и выделяется энергия, эквивалентная взрыву от десятков до сотен миллионов водородных бомб

**(Самая мощная вспышка 4.11.2003 – класса X28)**

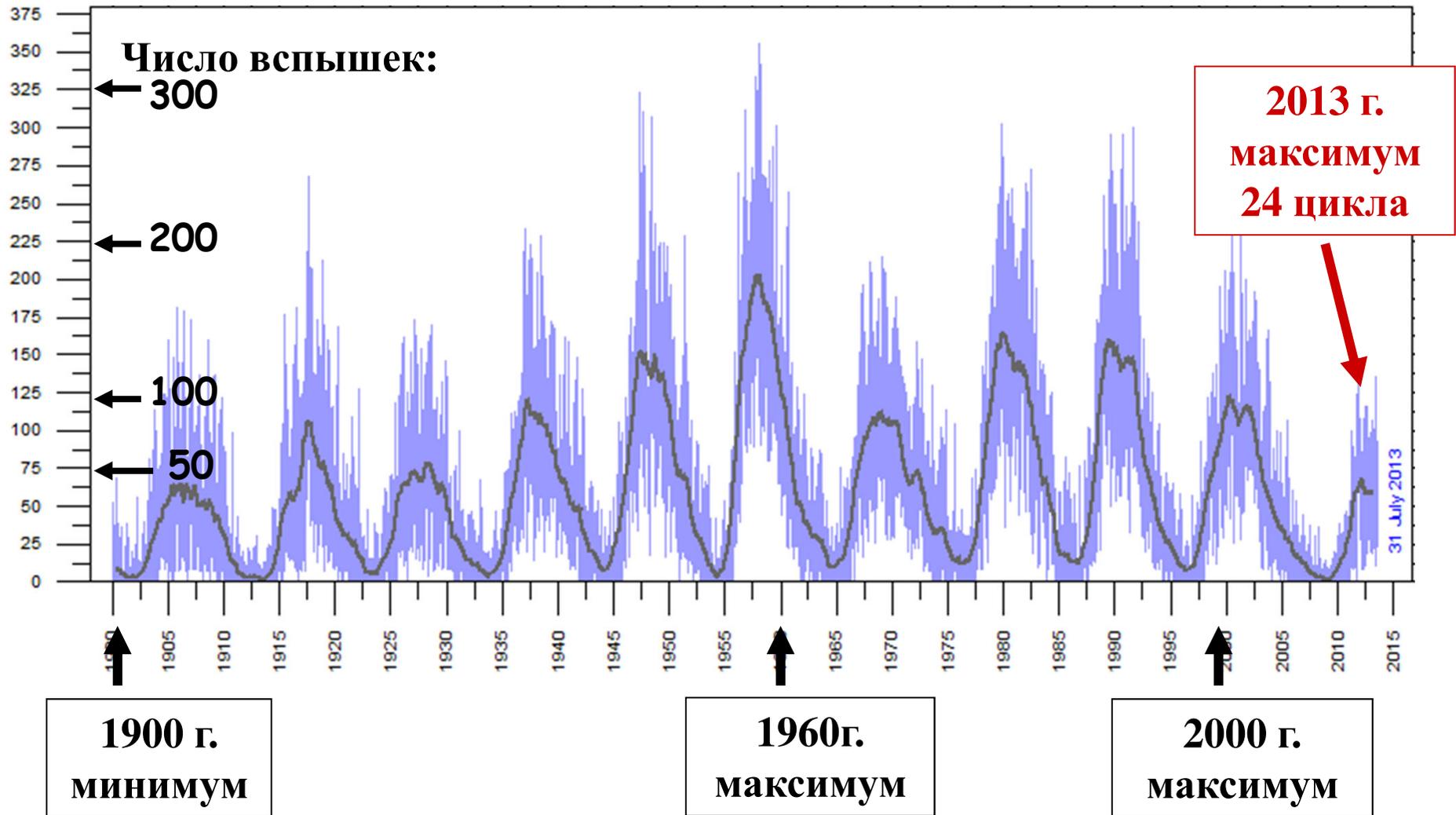
(объем мирового потребления электроэнергии за 1  
миллион лет).

TRACE.MPG



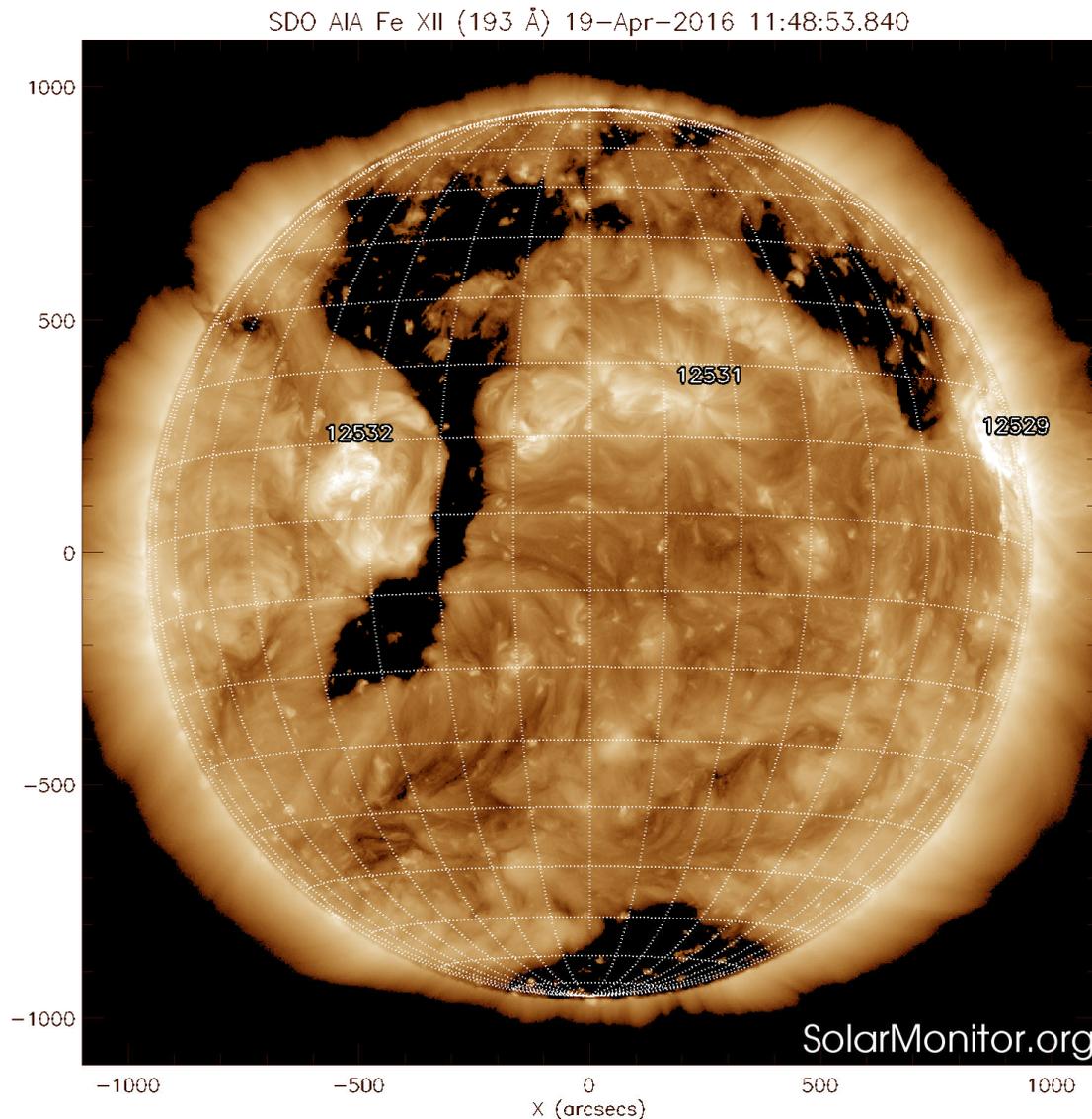
2002-Apr-21  
00:43:09

# Вариации числа вспышек с 1900 г. по 2015 г.



Все вспышки 24-го цикла слабее первой десятки крупнейших вспышек предыдущего 23-го цикла

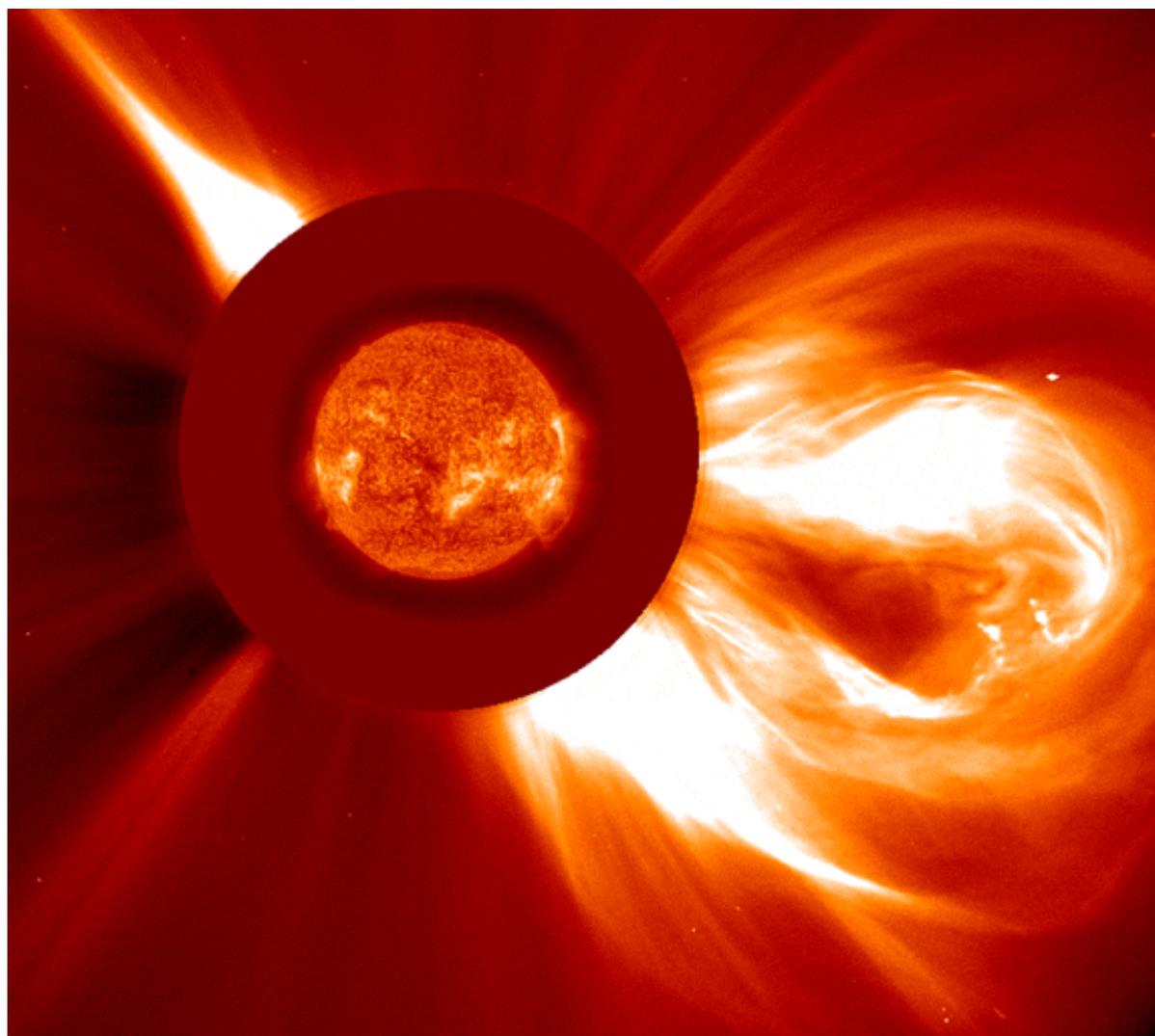
# Корональные дыры



- Темные области (низкая плотность вещества).
- Источник высокоскоростного солнечного ветра.
- Существуют месяцами.
- Наблюдаются в далеком УФ и в рентгене.
- Наземные наблюдения в ИК (10830 Å): дыры выглядят ярче, чем окружающая среда.
- Во время минимума солнечной активности самые стабильные и мощные дыры наблюдаются вблизи полюсов.

# **Корональные выбросы вещества (СМЕ)**

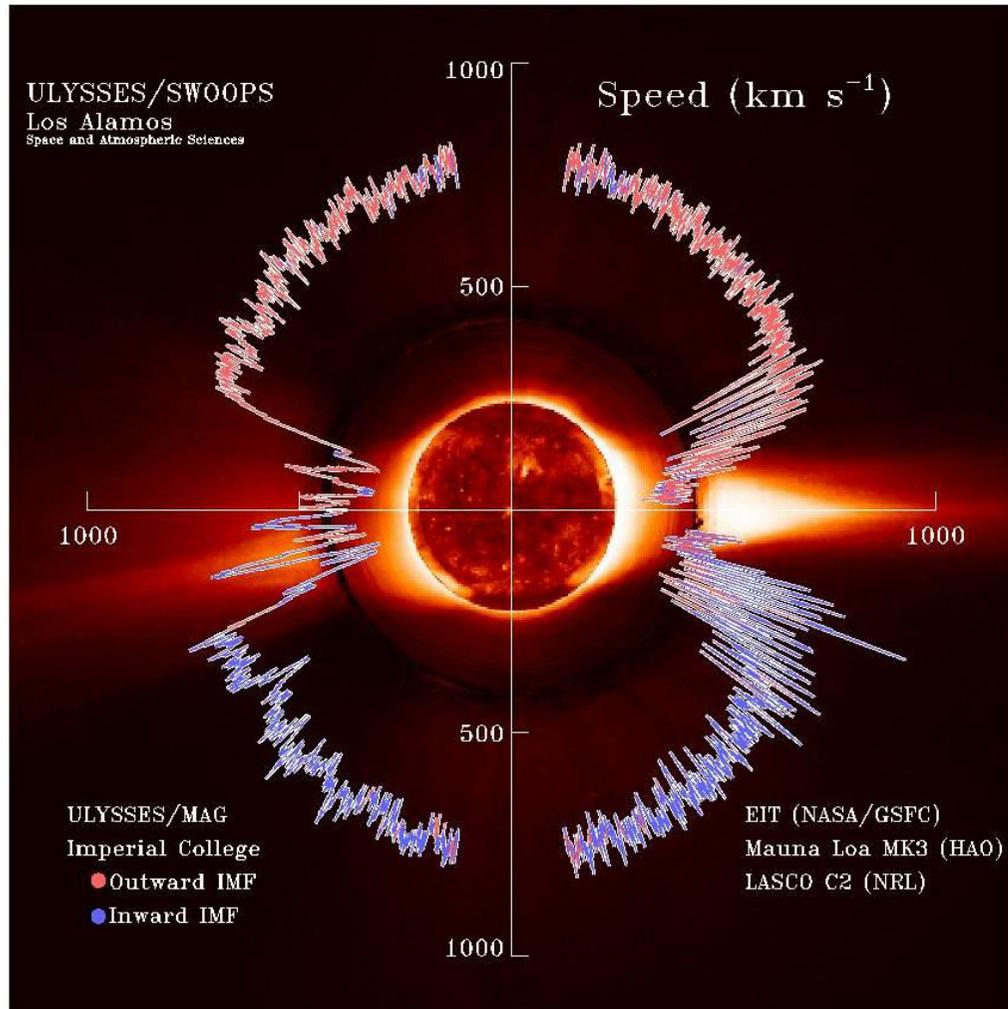
- СМЕ – выбросы огромных пузырей газа (протоны, электроны, тяжелые атомы) вдоль линий магнитного поля.**



**Первое наблюдение CME: начало 1970-х на орбитальной солнечной обсерватории OSO-7**

- **CME выглядит как оторвавшаяся от Солнца замкнутая петля магнитного поля, несущая в себе сгусток коронального вещества.**
- **Во время солнечного минимума ~1 CME в неделю. Во время максимума ~ 2-3 CME в день.**
- **CME длятся несколько часов.**
- **CME связаны с протуберанцами и вспышками. Иногда наблюдаются и при их отсутствии.**

# Солнечный ветер



**Ветер – регулярное истечение из короны со скоростью от ~400 до 800 км/с частиц, ионов и замороженного магнитного поля.**

**Каждую секунду миллионы тонн этого вещества непрерывно убегает в межпланетное пространство.**

**Изменения солнечной активности  
вызывают изменения в  
межпланетном пространстве и  
космической погоде.**

# **Космическая погода –ЭТО**

**совокупность явлений, происходящих**

- ☀ в верхних слоях атмосферы Земли,**
- ☀ в ионосфере,**
- ☀ магнитосфере,**
- ☀ радиационных поясах,**
- ☀ околоземном космическом пространстве**

**под действием солнечной активности**

# **Какие явления солнечной активности влияют на космическую погоду ?**

- **Жесткая часть спектра солнечного излучения (ультрафиолет, рентген).**
- **Солнечный ветер.**
- **Выбросы вещества во время солнечных вспышек.**
- **Корональные выбросы массы (СМЕ).**

**СМЕ в первую очередь определяют космическую погоду, а все остальные явления дополняют картину.**

# **Как явления солнечной активности влияют на космическую погоду ?**

- **Жесткая часть спектра солнечного излучения (ультрафиолет, рентген) ионизирует земную атмосферу.**
- **Солнечный ветер ионизует верхнюю атмосферу, меняет геомагнитное поле, разрушают озоновый слой.**
- **Выбросы вещества во время солнечных вспышек и корональные выбросы массы (СМЕ) приводят к геомагнитным бурям.**

## **За какое время электромагнитное излучение и потоки плазмы от вспышек и СМЕ достигают Земли ?**

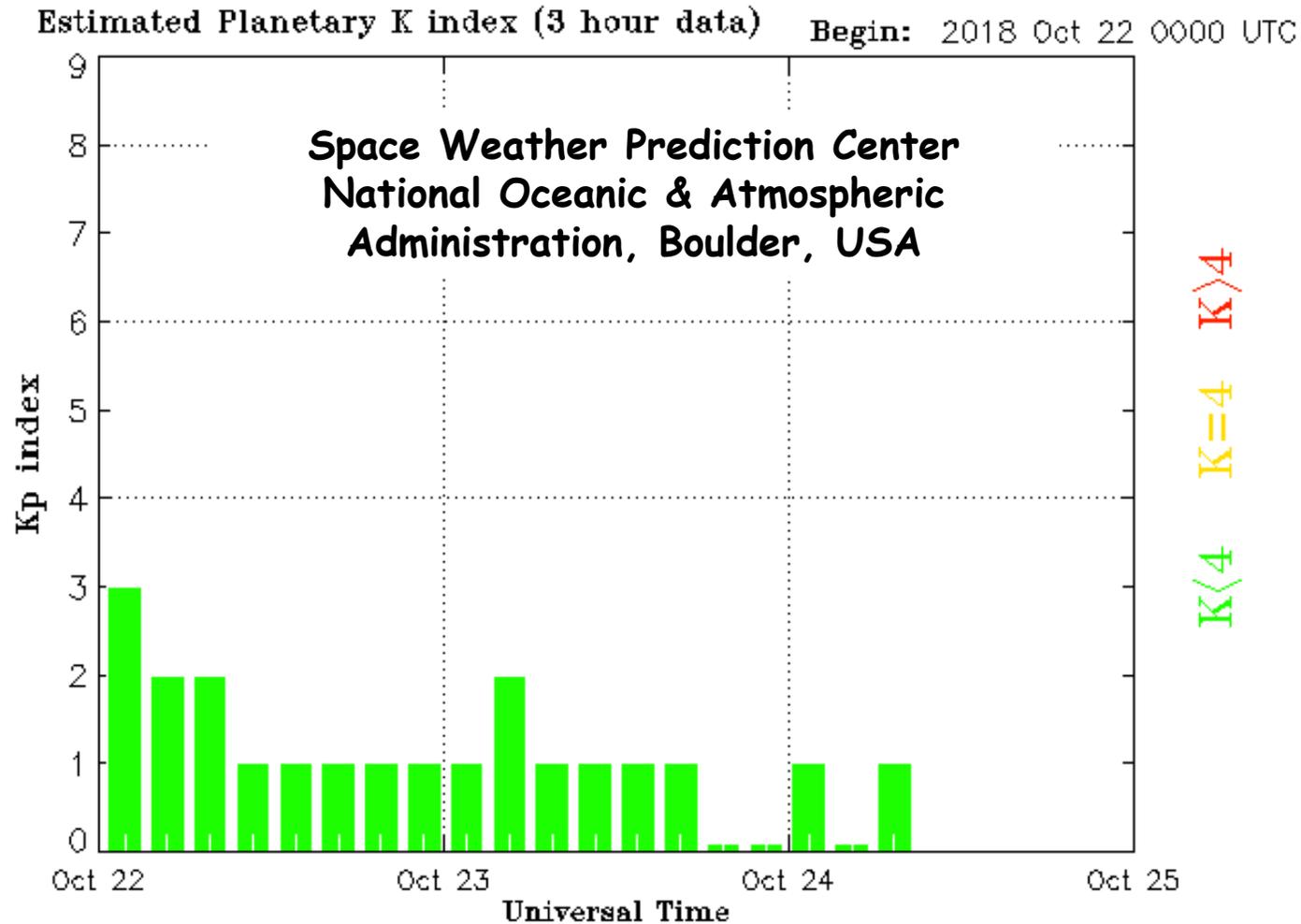
- **УФ и рентген – за 8 минут.**
- **Высокоэнергетические заряженные частицы – за 100 минут.**
- **Облака плазмы – через 1.5-2 суток приводят к появлению геомагнитной бури.**
- **Частота самых сильных бурь (уровень  $K_p=9$ ): 4–6 бурь за 11-летний цикл (~ 1 буря за 2-3 года).**
- **Умеренные бури ( $K_p= 6$ ): около 600 бурь за 11-летний цикл (~ 1 буря за неделю).**

# Геомагнитная буря

- **Удар облака плазмы по магнитосфере вызывает колебания магнитного поля.**
- **Магнитосфера обжимается обтекающим потоком солнечной плазмы.**
- **Концентрация силовых линий возрастает. Происходит их пересоединение.**

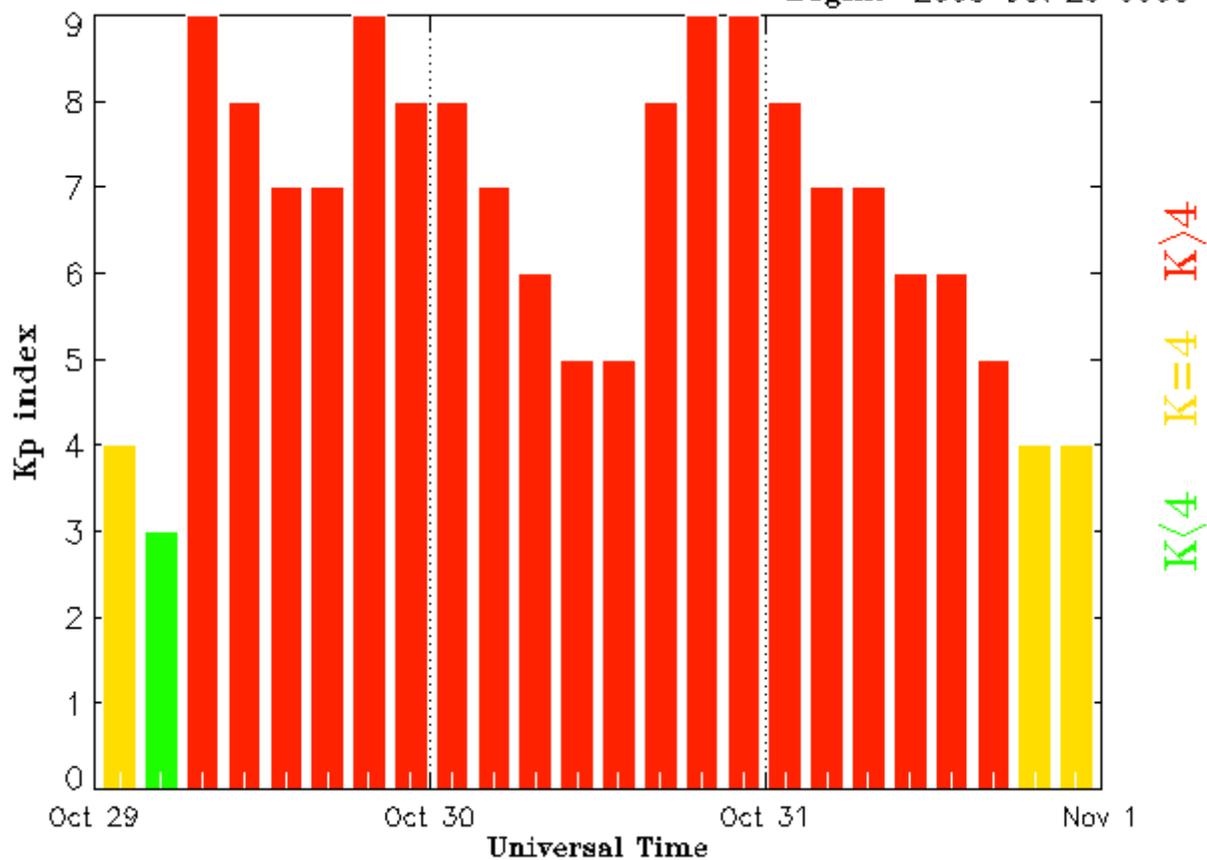
**Заряженные частицы радиационного пояса ускоряются вдоль линий магнитного поля, проникая в атмосферу вблизи полюсов. Столкновения электронов с атомами и молекулами кислорода и азота вызывают полярные сияния на высоте от 80 до 500 км над поверхностью Земли.**

Для характеристики силы геомагнитных бурь  
используется **планетарный K-индекс**.



**Планетарный K-индекс. 24 октября 2018**

Estimated Planetary K index (3 hour data) Begin: 2003 Oct 29 0000 UTC



Updated 2003 Nov 1 02:45:03 UTC

NOAA/SEC Boulder, CO USA

**Геомагнитная буря G5 29-31 октября 2003 г.**

# **Влияние на Землю геомагнитных бурь**



**Воздействие на космические аппараты:**  
обширный поверхностный заряд,  
торможение спутников,  
проблемы с ориентацией, связью и слежением за  
космическими кораблями.

**Радиационные дозы** для космонавтов и  
авиапассажиров.



**Сбои** мобильной, спутниковой связи и компьютерных систем, сбои в работе аэропортов. Из-за солнечной активности может «лечь» банковская система.



### **Воздействие на энергетические системы:**

**возможны разрушения энергетических систем и трансформаторов.**

### **Воздействие на наземные системы:**

**токи через трубопроводы достигают сотен ампер, 1-2 дня невозможна высокочастотная связь во многих районах, низкочастотная радио-навигация выходит из строя на несколько часов.**



**Полярные сияния** могут быть видны вплоть до экватора

## **Примеры катаклизмов, вызванных солнечной активностью**

**В 1859 году из-за магнитной бури вышел из строя телеграф в США и Европе.**

**Магнитная буря 1989 года привел к нарушению электроснабжения в Квебеке. 6 млн. канадцев на 9 часов остались без света и тепла.**

**Изменение орбиты американского космического аппарата Skylab в 1979 г. из-за нагрева верхней атмосферы привело к его падению.**

**Вероятность достижения атлантическими тропическими циклонами побережья США увеличивается с 25 % в годы максимума солнечной активности до 64 % в годы минимума солнечной активности.**

# **Влияние солнечной активности на биосферу Земли**



**В 1801 г.  
английский астроном  
Фредерик Уильям Гершель  
(1738 – 1822)**

**отметил корреляцию между усилением  
солнечной активности и повышением  
урожайности сельскохозяйственных  
культур.**



**Александр Леонидович Чижевский (1897  
– 1964)**

**установил корреляцию солнечной  
активности с рядом природных и  
социальных явлений.**

**А. Л. Чижевский установил корреляцию солнечной активности с рядом природных и социальных явлений (изменением грунтовых вод, повторяемостью засух, ураганов, возникновением эпидемий, ростом преступности).**

**Согласно Чижевскому усиление солнечной активности «воздействует на нервную и гормонально - эндокринную системы индивидуумов, что приводит к повышению коллективной возбудимости, неуравновешенности, агрессивности, экстремального поведения».**

**Если в этот период в обществе нет объединяющей «идеи», то растет преступность, а если есть «идея» - происходят революции: в годы повышенной активности произошли 60% подобных социальных движений (1789 г., 1830 г., 1848 г., 1905 г., 1917 г.), при минимуме активности – 5%.**

## **Влияние геомагнитной бури на человека**

**Во время бури магнитное поле Земли начинает колебаться. Поле колеблется с разной частотой, включая частоту, с которой “колеблется” наше сердце (60-80 ударов/мин).**

**Совпадение солнечного и сердечного ритмов может привести к тяжелым последствиям. Мишенями бури становится кровеносная, сердечно-сосудистая и вегетативная нервная системы, легкие. Около 70% инфарктов, инсультов происходит во время магнитных бурь.**

### **Основные группы риска:**

- Больные с патологией сердечно-сосудистой системы, особенно, перенесшие инфаркт миокарда;**
- Здоровые люди с функциональным перенапряжением (космонавты, летчики трансконтинентальных перелетов, операторы и диспетчеры энергетических станций, аэропортов и т. д.);**
- Дети в период бурного развития с несформировавшейся адаптационной системой.**

**Как себя вести? Уменьшить физические нагрузки и стараться избегать психологических проблем.**

**Начиная с 1900 г.**

**убытки от всякого рода катастроф,  
связанных с солнечной активностью  
составили триллионы долларов.**

**Миллионы людей стали жертвами  
природных катаклизмов.**

# **Можно ли спрогнозировать солнечную активность заранее ?**

**На сегодня наиболее надежными являются  
2-суточный и  
1-часовой прогнозы.**

**Их вероятность  
~ 30-50% и  
~ 95%.**

**Что нужно сделать для  
прогнозирования активности  
Солнца?**

# Космические миссии: больше 20

**MMS** (Magnetospheric Multiscale)

Запущен: март, 2015

**IRIS** (Interface Region Imaging Spectrograph)

Запущен: июнь 27, 2013

**SDO** (Solar Dynamic Observatory)

Запущен: февраль 11, 2010

**Hinode** (Solar-B)

Запущен: сентябрь 23, 2006

**STEREO** (Solar Terrestrial Relations Observatory)

Запущен: октябрь 25, 2006

**RHESSI** (Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscope Imager)

Запущен: февраль 05, 2002

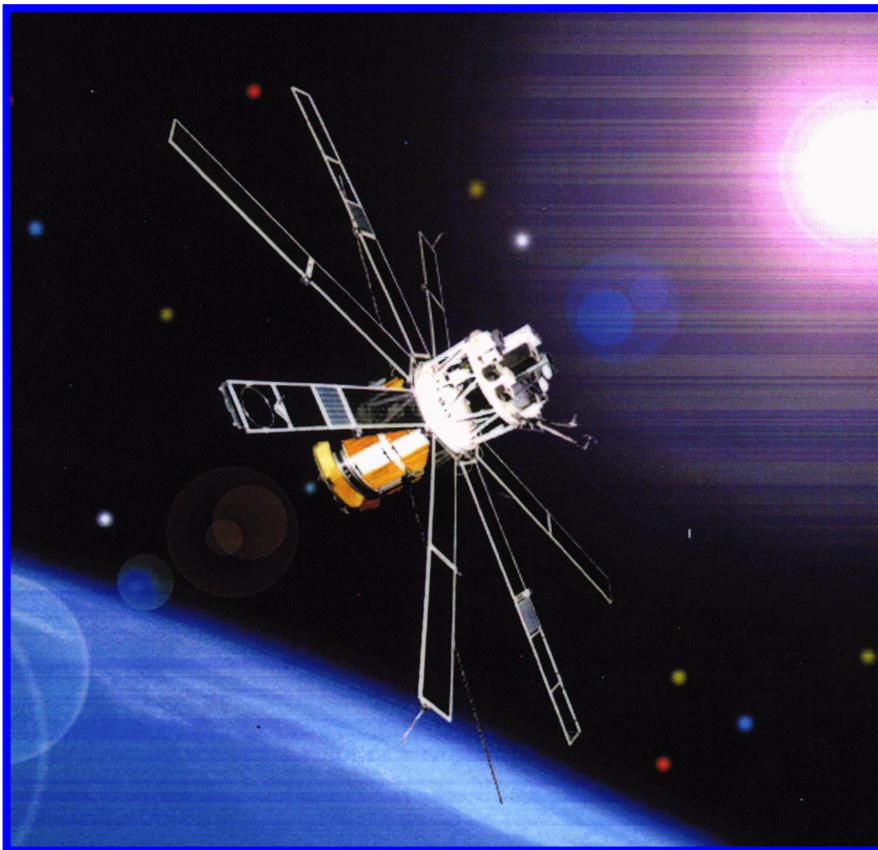
**SOHO** (Solar and Heliospheric Observatory)

Запущен: декабрь 2, 1995

<http://science.nasa.gov/heliophysics/missions/>

# **Геліосейсмологія**

## **Космічний проект CORONAS - DIFOS**



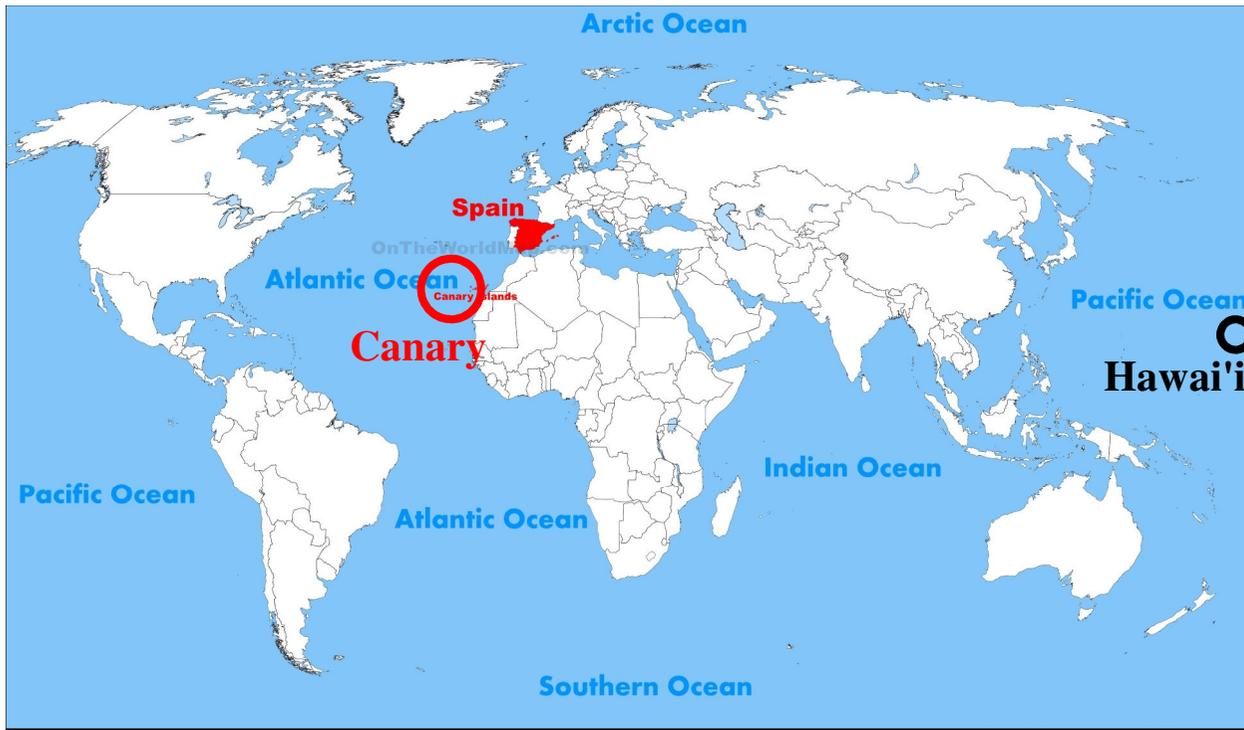
**За допомогою приладу  
DIFOS  
проведені космічні  
спостереження  
глобальних коливань  
яскравості Сонця в п'яти  
довжинах хвиль на  
орбітальних станціях  
КОРОНАС-І &  
КОРОНАС-Ф**

**CORONAS-I: 16.03.1994 – 07.05.1994**

**CORONAS-F: 31.07.2001 - 04.12.2005**

**Е. Гуртовенко, Л. Кесельман, Р. Костик, С. Осипов**

# Наземные наблюдения Солнца



**EST will be  
sited at one of  
the Canary  
Islands:  
La Palma or  
Tenerife**



**США**

# **Future 4-m Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST)**

**named after Daniel Ken Inouye, a US Senator for Hawaii  
(1924-2012)**



# **McMath Pierce solar telescope**

**named after astronomers Robert McMath and Keith Pierce  
(1962, 2002 upgraded)**

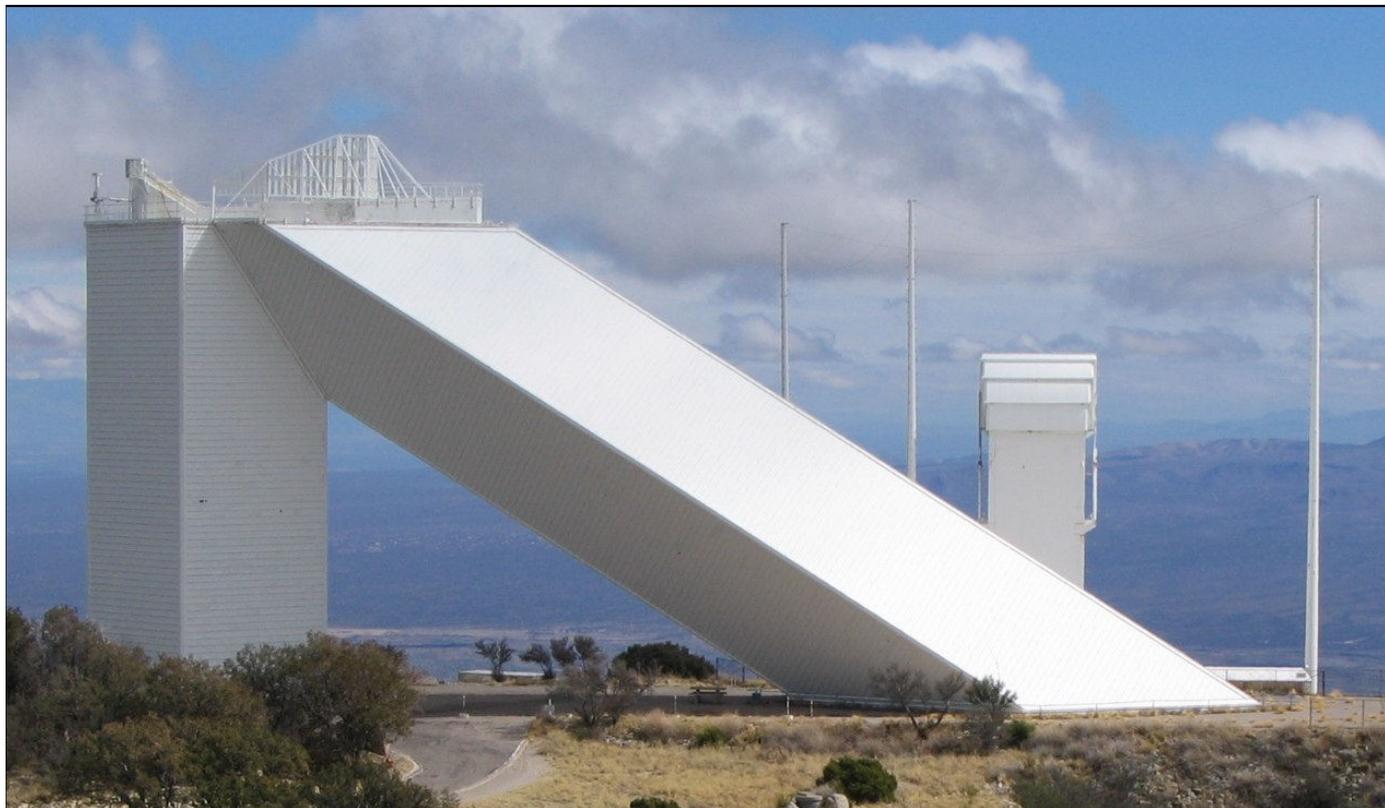
**Kitt Peak National Observatory, Tucson, Arizona, USA**

***The largest solar telescope in the world. It is a triple instrument.***

**The primary 1.61 m mirror + 2 telescopes with mirrors  $D= 1.07$  m &  $D=0.91$  m.**

**Wavelength: 0.3-12 microns.**

**1-meter Fourier Transform Spectrometer**



**Tower height  
 $H \approx 33$  m.  
Diagonal shaft  
length to the  
ground  $L=66$  m.  
The shaft continues  
 $\approx$  vertical 50 m  
underground to the  
1.6 m primary  
mirror.**

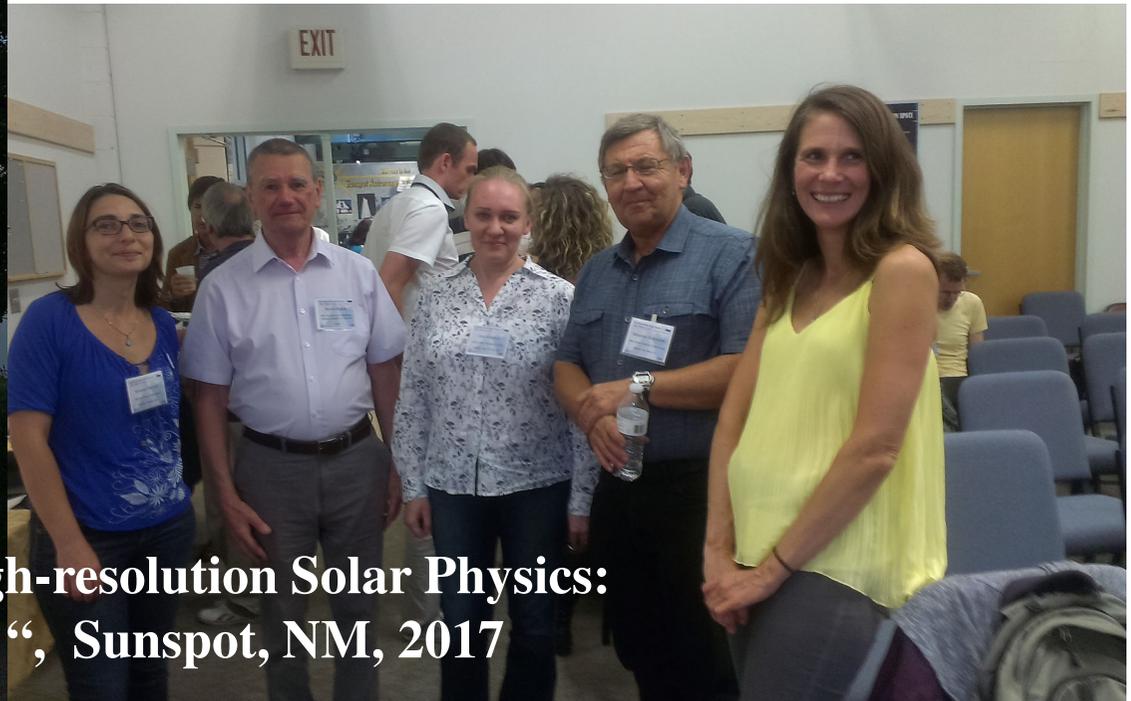
# **Richard Dunn Vacuum Solar telescope**

**(1969, 2004 upgraded)**

**Sacramento Peak, Sunspot, New Mexico, USA**

**Heliostat on top of a 41-m-tall tower; tower  
continues 58.8 m more underground to the  
primary mirror  $D=0.76$  m**

**High-resolution imaging & spectroscopy**



**30th Workshop " High-resolution Solar Physics:  
Past, Present, Future ", Sunspot, NM, 2017**

# **Goode Solar Telescope** (GST) named after Philip R. Goode

**(First light in 2009; 2010, 2012, 2016 upgraded)**



**GST is named after Philip R. Goode**  
**After 2017 known as**  
**New Solar Telescope (NST)**  
**Big Bear Solar Observatory, Big Bear**  
**Lake, California, USA**

**Altitude 2055 m**

**Organization: New Jersey Institute of**  
**Technology**

**The primary mirror  $D=1.6$  m.**

**The visible or near-infrared spectro-**  
**polarimeter with adaptive optics.**

**Spatial resolution is less than 50 km.**

**Wavelength range 310–1000 nm**

**Европа**

**Tenerife, Canary Islands, Spain**  
**Teide Observatory**                      **2390**  
**m**



**La Palma, Canary Islands, Spain**  
**Observatorio Roque de los Muchachos,**  
**2396 m**



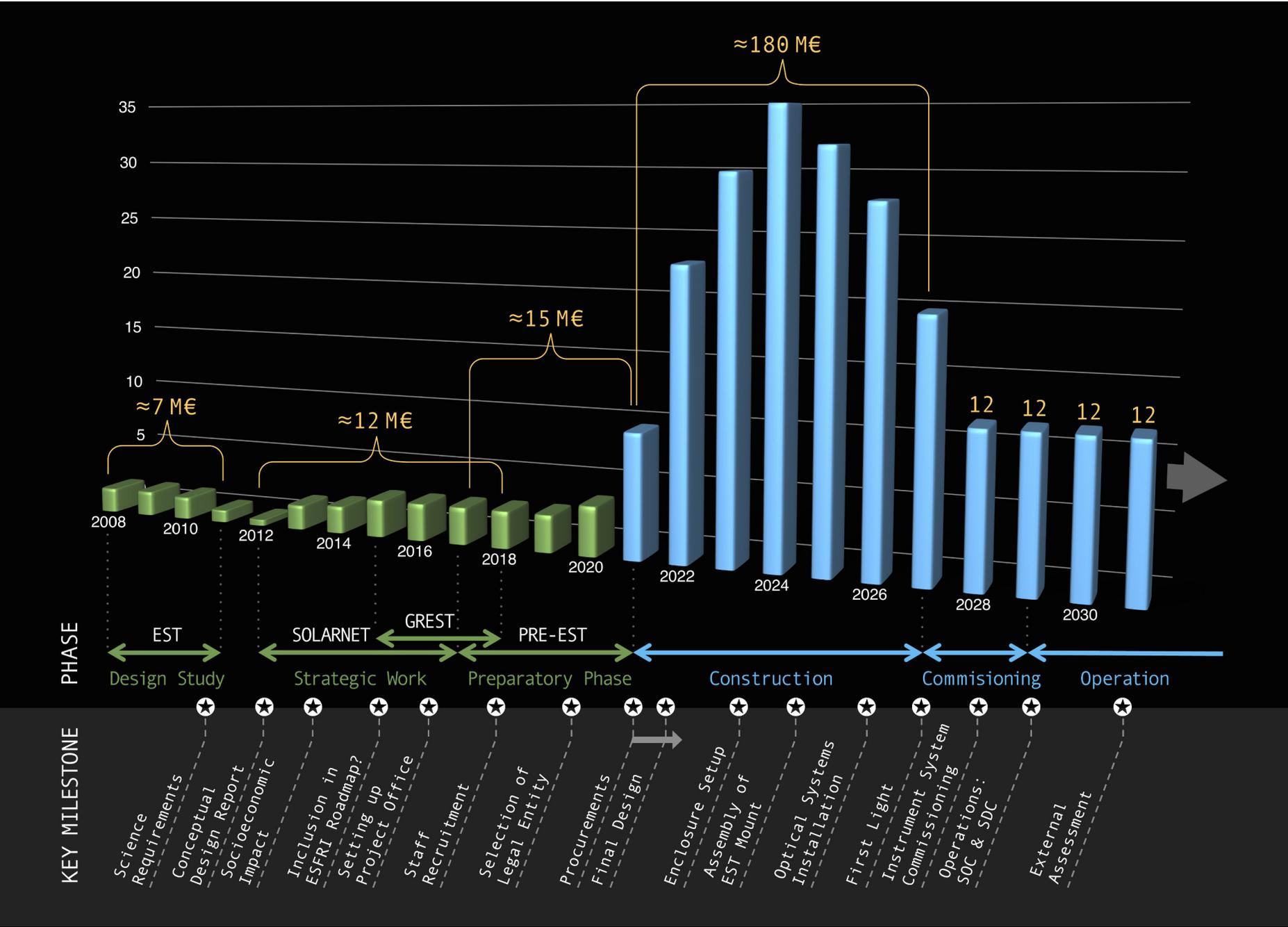
**Future**

**European**

**Solar Telescope (EST)**



# Стоимость EST-проекта



# **1.5-m GREGOR solar telescope: the third-largest solar telescope in the world, after the Big Bear & the McMath-Pierce**



**Visible and infrared wavelengths.**

**A high-order adaptive optics.**

**IR (1000–1800 nm)  
Spectrograph for spectropolarimetry (GRIS).**

**Smallest spatial scale:  
70 km.**

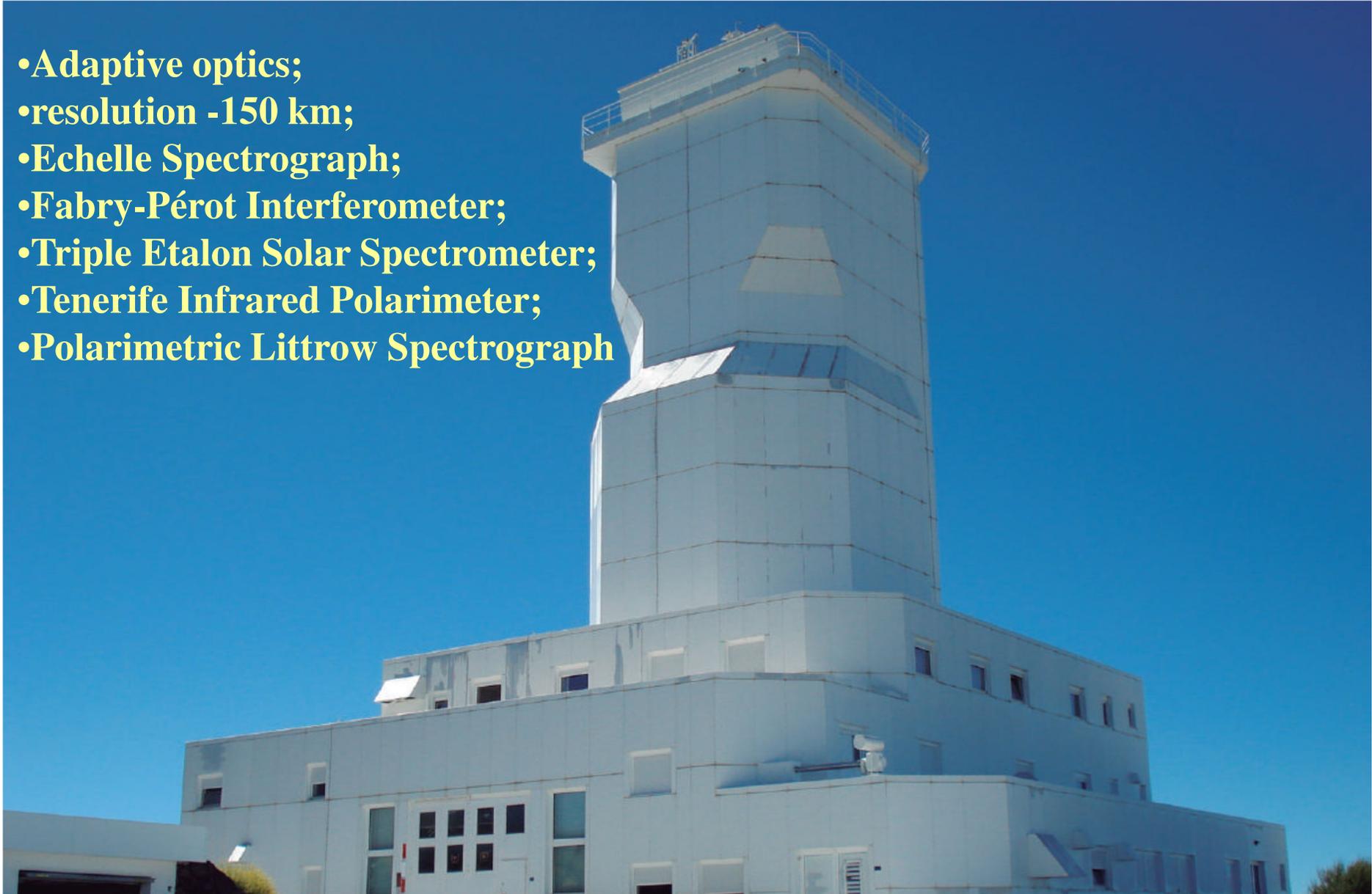
**GREGOR replaces the Gregory Coudé Telescope. First light 2009, inauguration - 2012.**

***Organization: Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik (Freiburg),  
Leibniz-Institut für Astrophysik (Potsdam)  
Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), (La Laguna, Spain)***

# 0.7-m Vacuum Tower Telescope (VTT, 1988)

*Organization:* **Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik (Freiburg)**

- Adaptive optics;
- resolution -150 km;
- Echelle Spectrograph;
- Fabry-Pérot Interferometer;
- Triple Etalon Solar Spectrometer;
- Tenerife Infrared Polarimeter;
- Polarimetric Littrow Spectrograph



# **0.9-m THEMIS solar telescope** (Télescope Héliographique pour l'Etude du Magnétisme et des Instabilités Solaires)

*Organization:* **France and Italy national research agencies**

**First light: 1996**

**Full Stokes multiline  
spectropolarimetry:**

**vector magnetic field  
determination  
at different heights in  
the solar photosphere  
& chromosphere**



# Swedish 1-m solar vacuum telescope (SST, 2005)

*Organization:* Institute for Solar Physics, Stockholm University

SST is producing very high resolution images close to diffraction limit of 1m telescope: 80 km at 500 nm



**Україна**

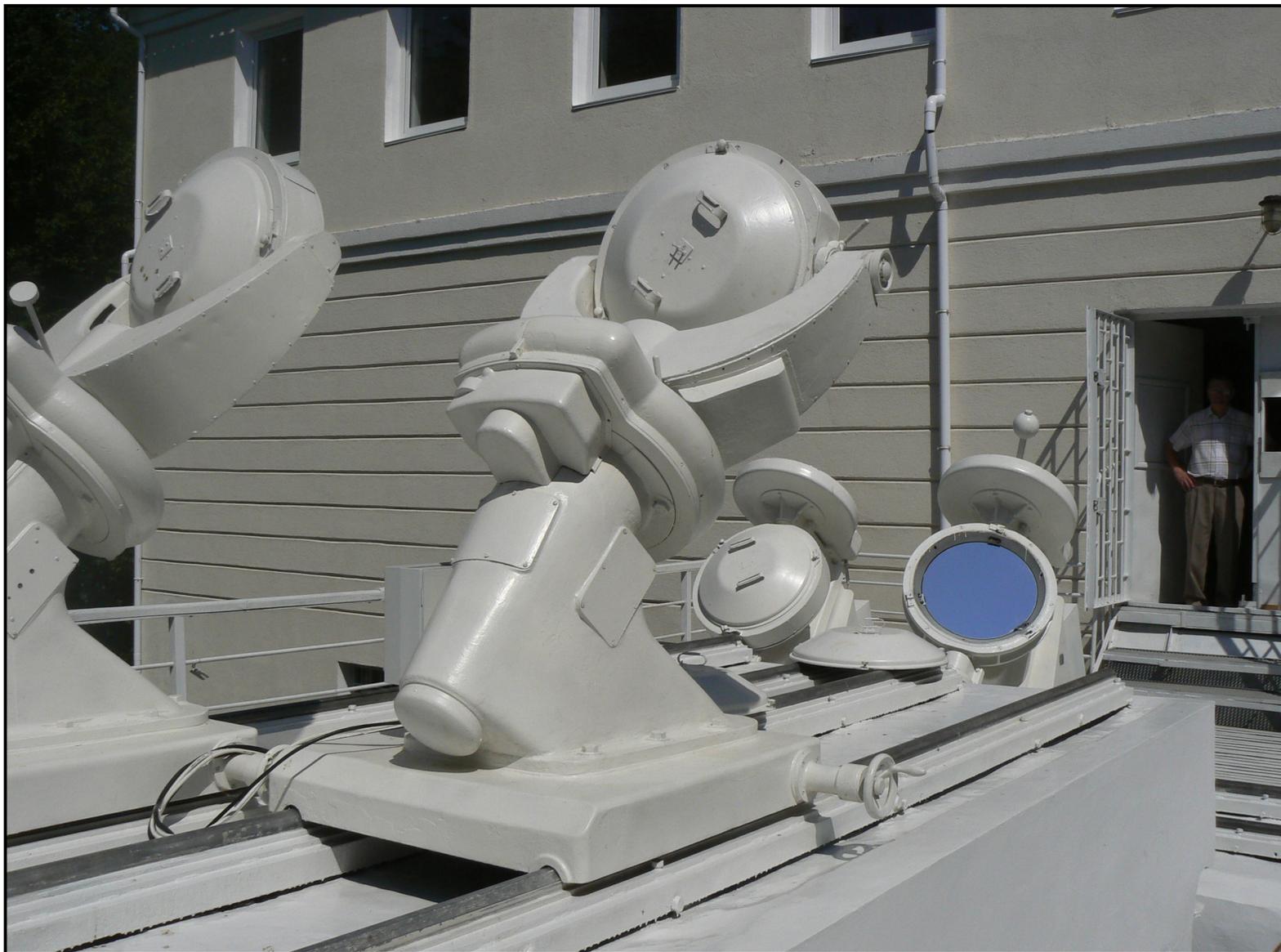


**Сонячний горизонтальний  
телескоп  
Ернеста Гуртовенка  
(АЦУ-5)**

**Телескоп введений в експлуатацію в 1966 р.**

**У 2011-2012 роках виконано реконструкцію телескопа,  
вдосконалено його апаратно-програмний комплекс,  
проведений ремонт будівлі, де він розташований.**

**Целостатна установка з  
2 плоскими дзеркалами, D= 44 см**



 **Довготривалі варіації  
Сонця**

## Сьогодні існують 2 програми моніторингу довготривалих варіацій Сонця

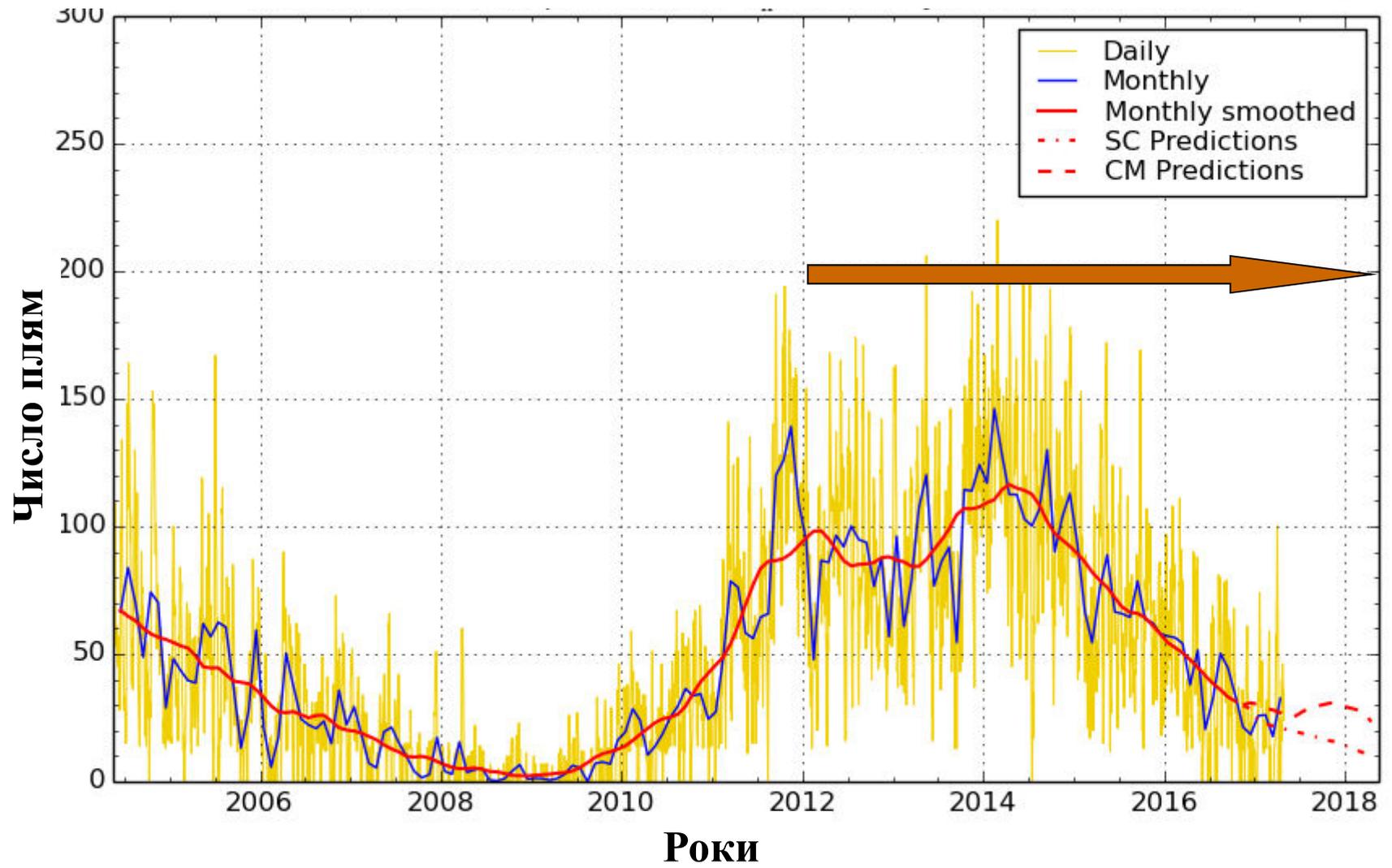
- 1. Американська спостережна програма SOLIS** (Synoptic Optical Long-term Investigations of the Sun). Для цього з 2006 р. використовується сонячний телескоп Національної Сонячної Обсерваторії Кіт-Пік (США).
- 2. Українська спостережна програма моніторингу,** яка виконується з 2012 р. на сонячному горизонтальному телескопі АЦУ-5 в ГАО НАНУ. *Інтерпретація спостережень – спільно з Львівським Національним університетом.*

**Завдання SOLIS** є довготривалий моніторинг  
Сонця як зорі.

**Завдання програми ГАО НАНУ** –  
довготривалий моніторинг спокійної  
компоненти атмосфери Сонця, які майже на  
порядок менші за варіації Сонця як зорі.

**На сьогодні ці варіації майже не вивчені.**

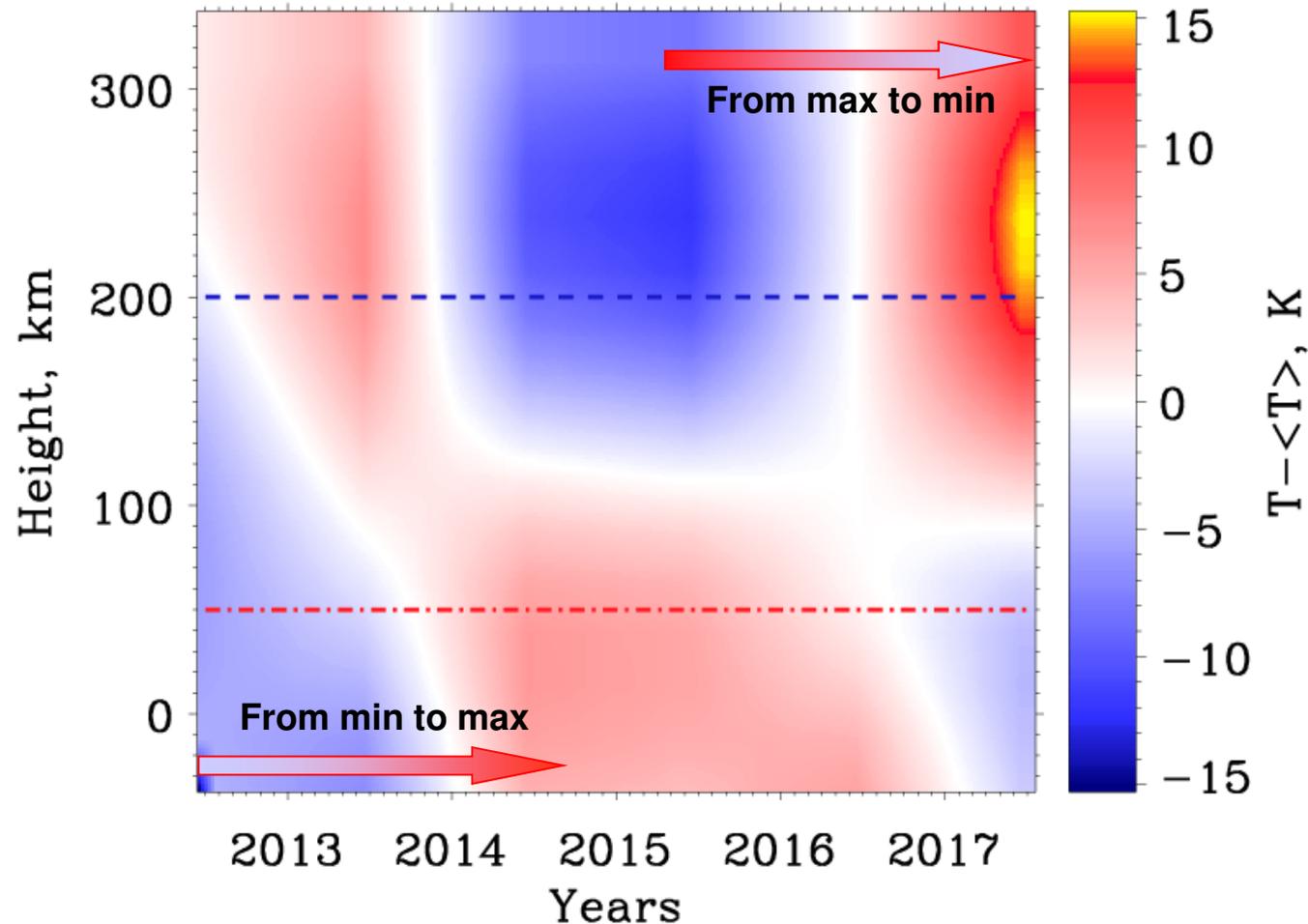
# Спостереження спектральних ліній нейтральних та іонізованих хімічних елементів ведуться з 2012 р.



**Результати моніторингу на  
телескопі Ернеста Гуртовенка:**

**Фотосфера Сонця в максимумі  
сонячної активності стає  
гарячішою.**

## Map of the temperature changes ( $T - \langle T \rangle$ ) of the quiet solar atmosphere with height and time



$T$  is the average annual temperature of the quiet photosphere at a given height.

$\langle T \rangle$  represents temperature at a given height averaged over 2012 – 2017.

**Red** and blue lines indicate heights **50 km** and **200 km**, respectively.

**W. Livingston (2011)**

**“basal quiet atmosphere is  
unaffected by cycle  
magnetism within our  
observational error”**

## **Kyiv monitoring program**

**“basal quiet atmosphere is  
[REDACTED] affected by cycle  
magnetism within our  
observational error”**

SUNSPOT  
ASTRONOMY &  
VISITORS CENTER



Дякую за  
увагу