

Физическая экология

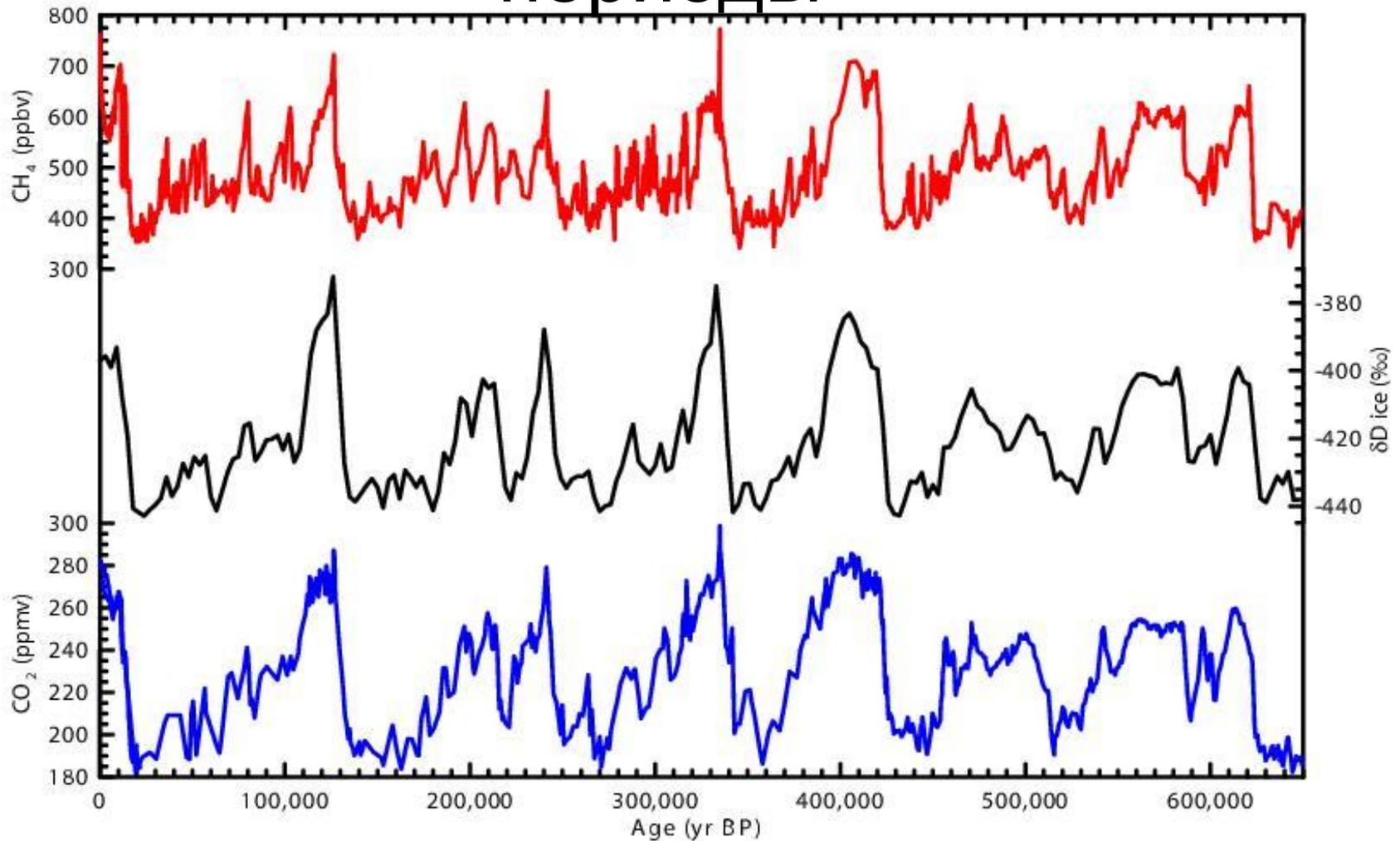
Занятие 9

Причины изменения климата Земли

Изменения климата: масштабы

Временное разрешение	Масштаб	Характерный период, лет	Температурная аномалия, °C
Погодичное	глобальный	40	0,6
Погодичное	локальный	150	0,7
Десятилетнее	глобальный	2,000	1,0
Двадцатилетнее	глобальный	10,000	1,5
Переменное	глобальный	650,000	5,0

Климат Плейстоцена – ледниковые периоды



Астрономические факторы изменения климата

Группа астрономических гипотез связывает изменения климата с влиянием космического окружения:

- **Движение Солнечной системы в Галактике:**
прохождению через холодные молекулярные облака, характерное время между подобными событиями оценивается 250 тыс. лет
- **Вспышка близкой сверхновой звезды**
- **Изменения солнечной активности**
- **Изменение параметров орбиты Земли**

Вспышка близкой сверхновой звезды

Наиболее мощные источники энергии в Галактике, до 10^{51} эрг в кинетической энергии (Солнце за время существования). Исторические сверхновые:

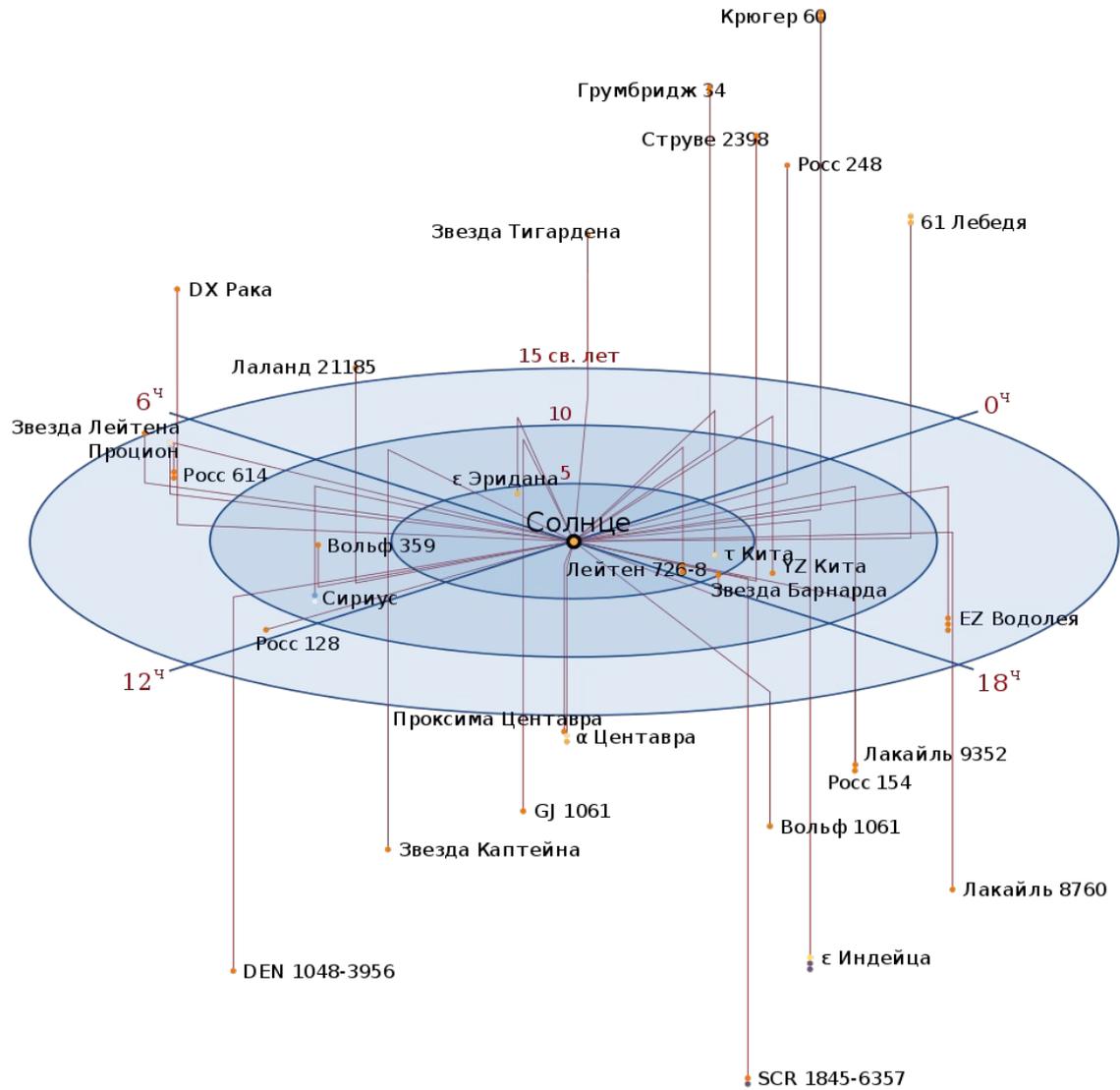
Кассиопея – ~1680 г. (~ 3,5 кпк)

Кеплера – 1604 г. (~ 6 кпк)

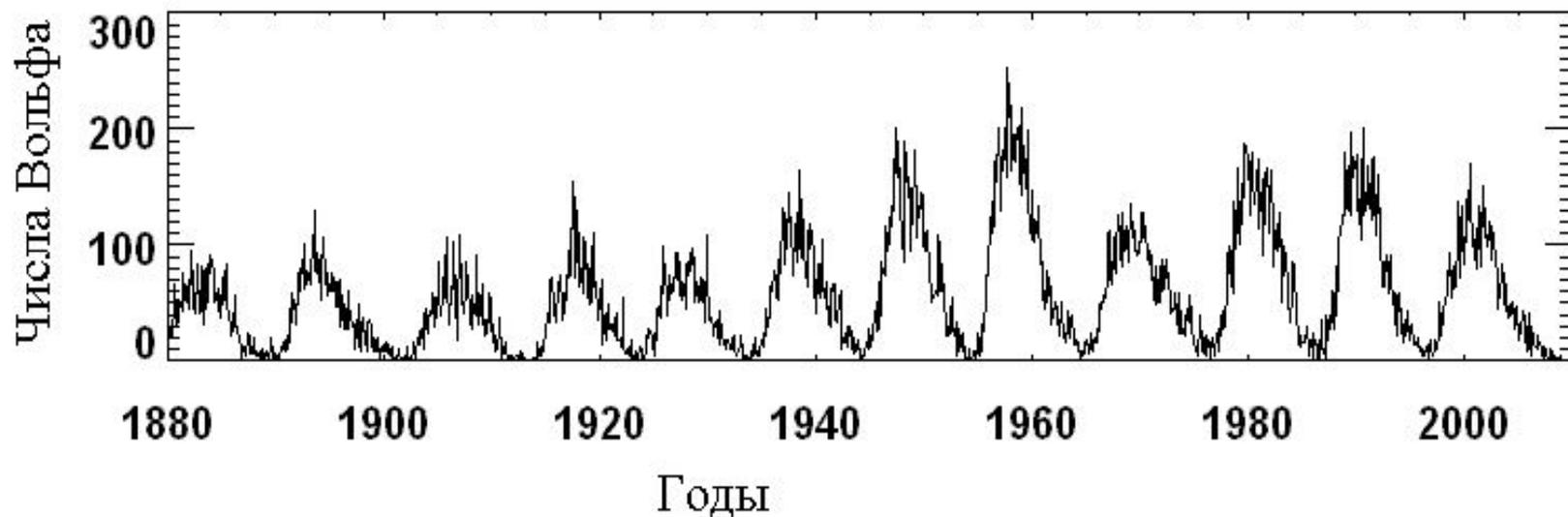
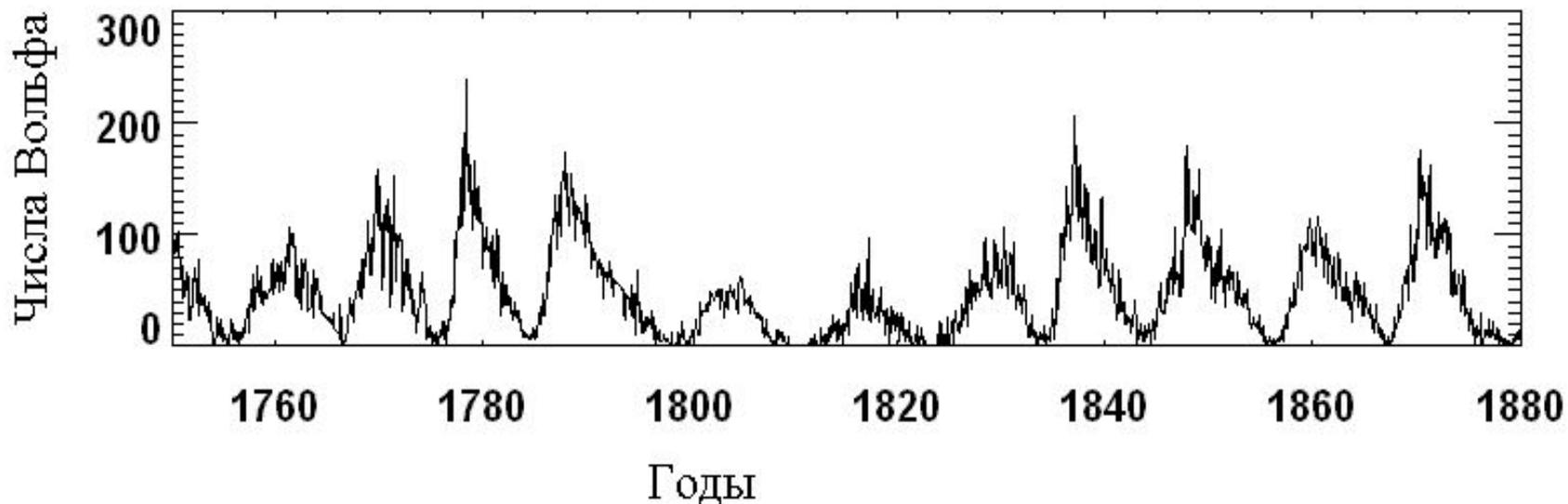
Тихо Браге – 1572 г. (~ 2,3 кпк)

Крабовидная туманность – 1054 г. (~ 2 кпк)

Однако, для того, чтобы кинетическая энергия расширяющейся оболочки сверхновой, достигнув Солнечной системы, существенно превысила критическое уровень возмущения, вспышка должна произойти ближе, чем в десятках парсеков. По современным оценкам, частота такого события порядка одного в сто миллионов лет.

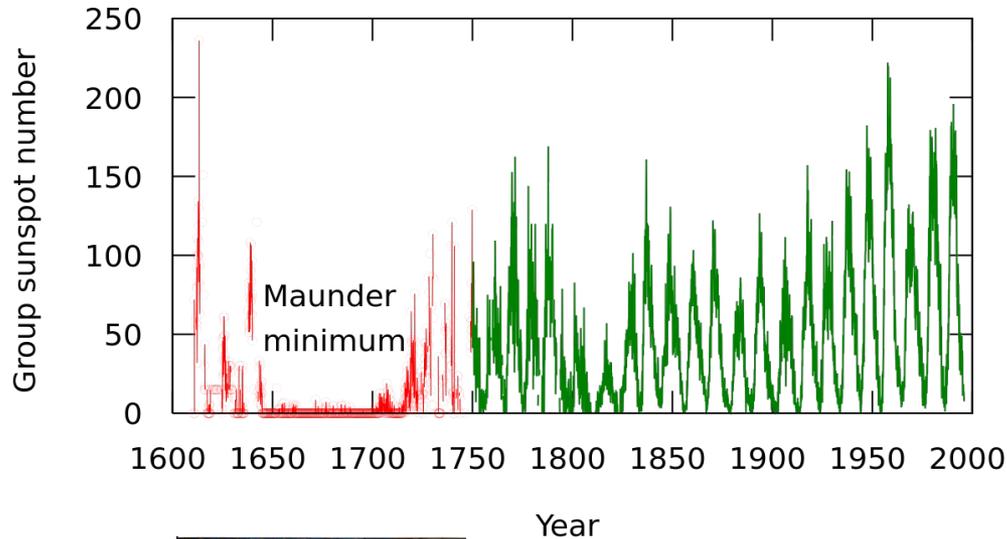


Цикличность солнечной активности

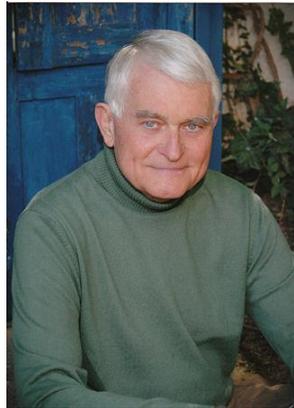


Минимумы солнечной активности

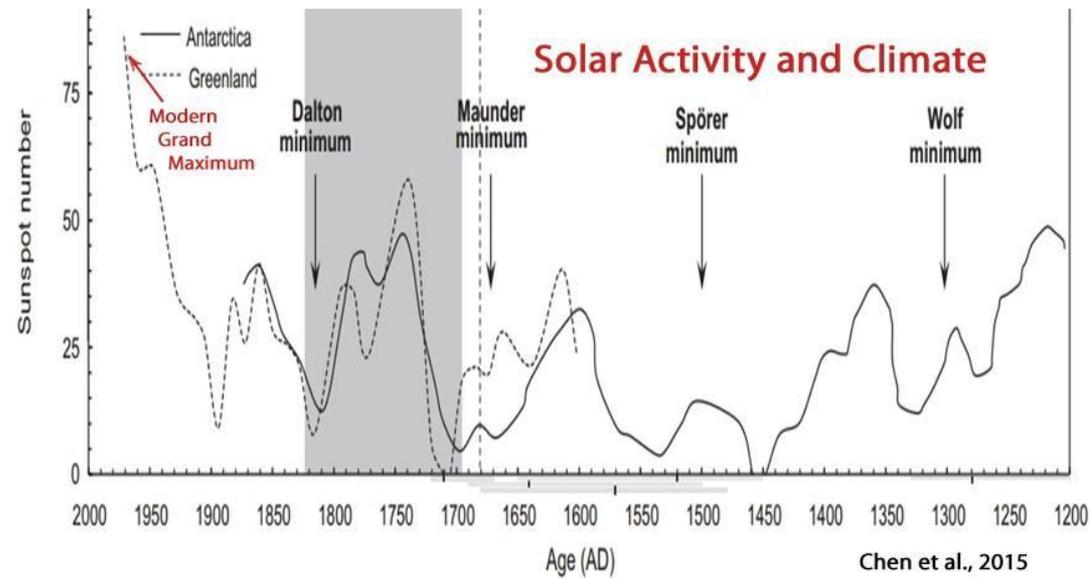
Periodic variation in sunspot number



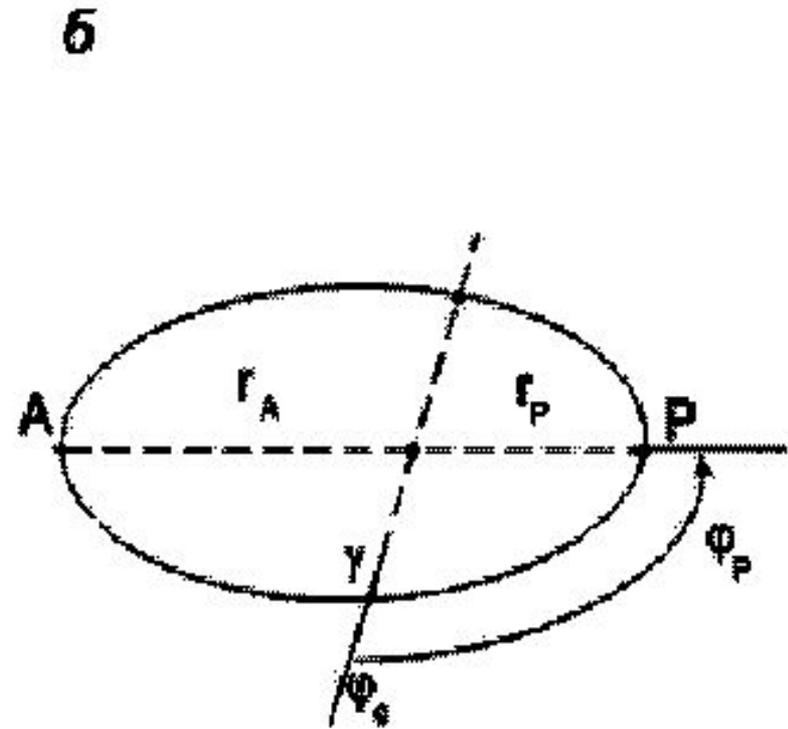
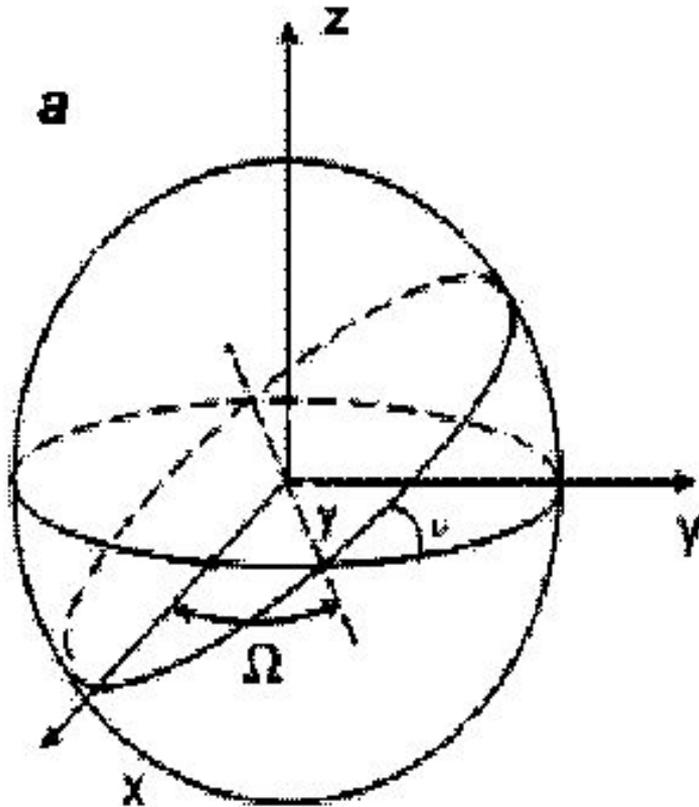
Edward Walter Maunder (1851 – 1928)



John Allen "Jack" Eddy (1931 – 2009)



Гравитационные возмущения орбиты



Таблицы Леверье

Первая астрономическая работа Леверье— «Исследования о вековых возмущениях планетных путей» появилась в 1839 году. В ней он впервые указал пределы изменения элементов планетных орбит и дал таблицы элементов на промежуток в 200 000 лет. В его вычислениях перемещение перигелия орбиты Земли и восходящего узла орбиты происходят с периодом соответственно 19 и 26 тысяч лет, долгопериодические колебания угла наклона земной оси к плоскости её орбиты с периодом около 41 000 лет, долгопериодические колебания эксцентриситета орбиты Земли с

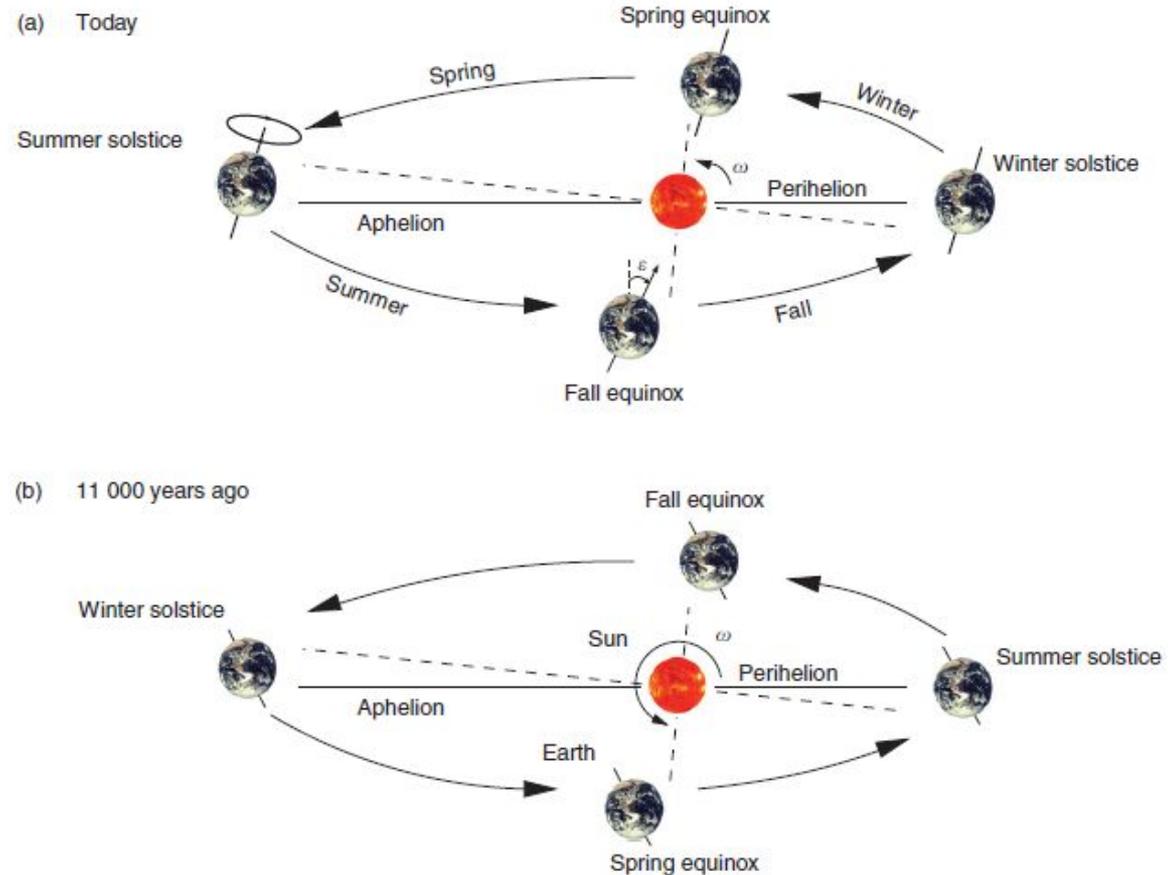


**Урбэн Жан Жозе́ф
Леверье́ (1811-
1877) -**
французский
математик,
занимавшийся
небесной
механикой.

Климатический отклик на гравитационное возмущение Земли (гипотеза Миланковича)



Милутин Миланкович
(1879–1958)



М. Миланкович «Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата» М., 1939

Климатический отклик на гравитационное возмущение Земли (гипотеза Миланковича)

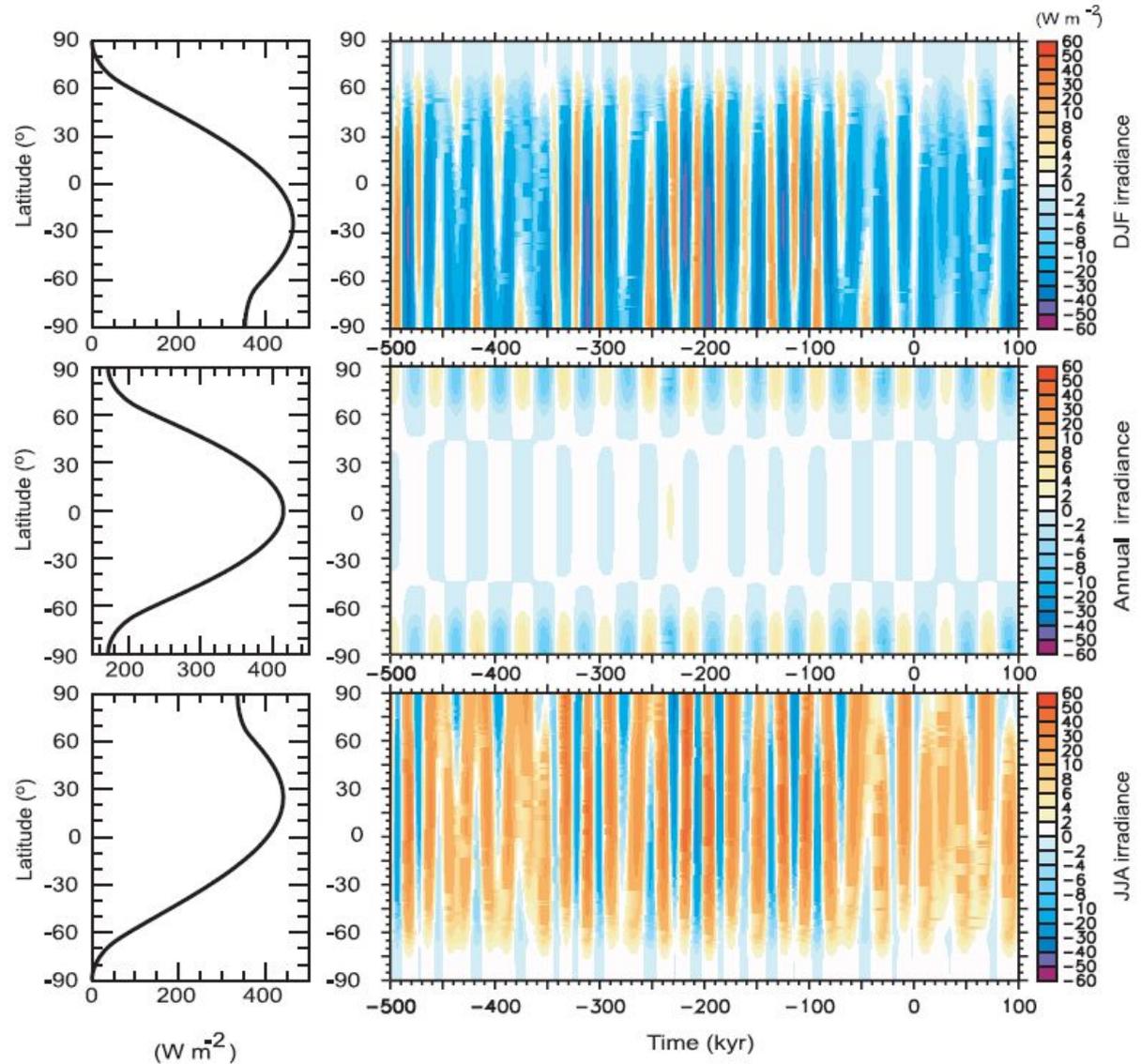
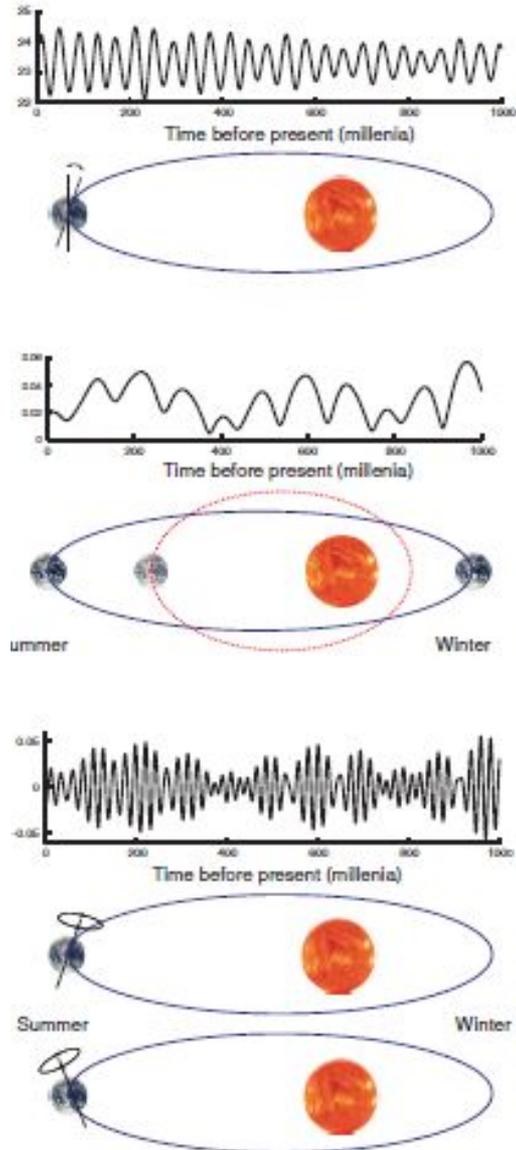
Еще Лаплас сформулировал теорему, согласно которой большие полуоси планет не испытывают вековых изменений. Таким образом, даже с учетом влияния других планет, для Земли полная инсоляция за год остается постоянной. Однако сезонный контраст, т. е. разница энергии, поступающей во время летнего и зимнего полугодия, меняется в соответствии с формулой

$$Q_{S-W} = \frac{S_0 P_0}{2\pi} \left[S_1(\theta, \varepsilon) \pm \sin(\theta) \sin(\varepsilon) \mp \frac{4}{\pi} e \sin(\omega) \cos(\theta) \right]$$

где P_0 – длина тропического года; θ – широта выбранной точки.

В дополнение к вековым возмущениям, Миланкович ввел дополнительную параметрическую зависимость от широты для изменения альбедо за счет нарастания

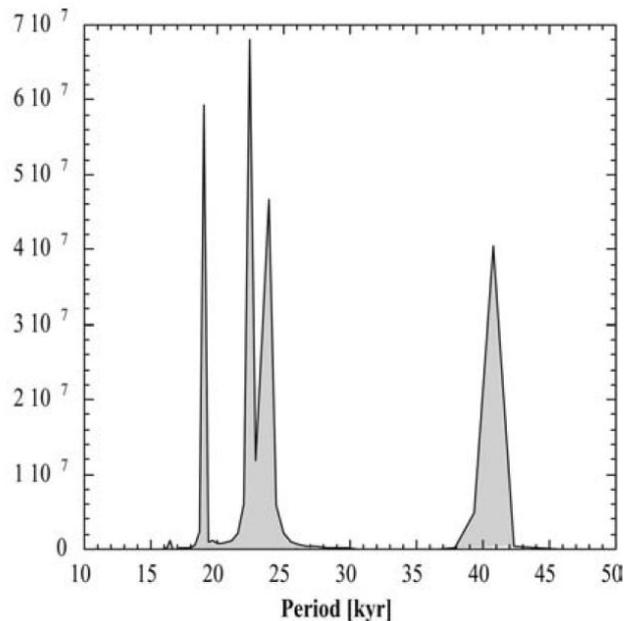
Влияние орбитальных параметров на мощность солнечного нагрева



Геологическое свидетельство ЦИКЛИЧНОСТИ

SCIENCE

10 December 1976, Volume 194, Number 4270



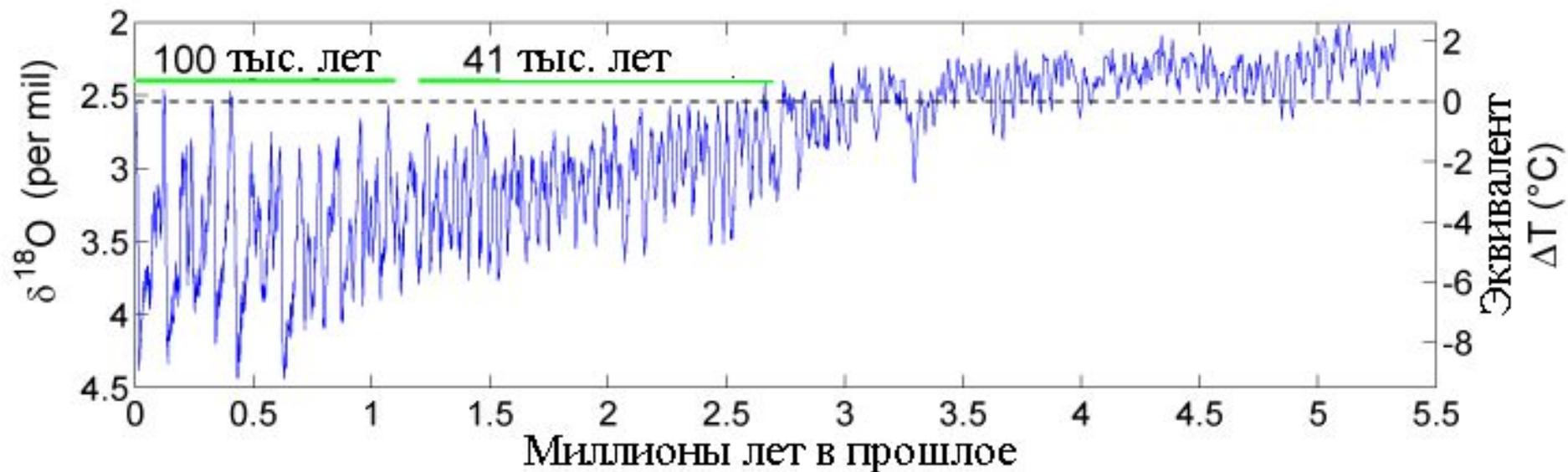
Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages

For 500,000 years, major climatic changes have followed variations in obliquity and precession.

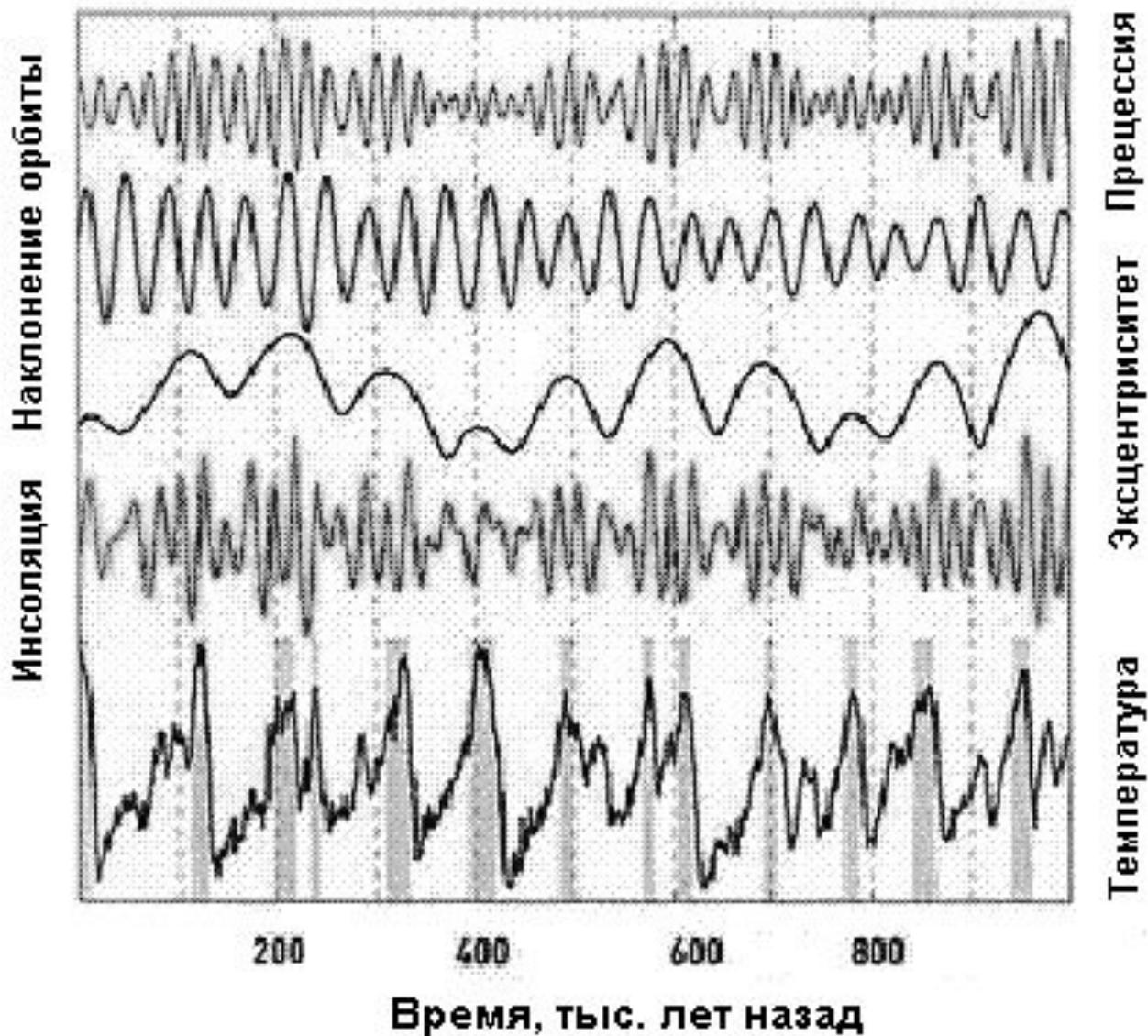
J. D. Hays, John Imbrie, N. J. Shackleton

Летняя инсоляция
на широте 65 N

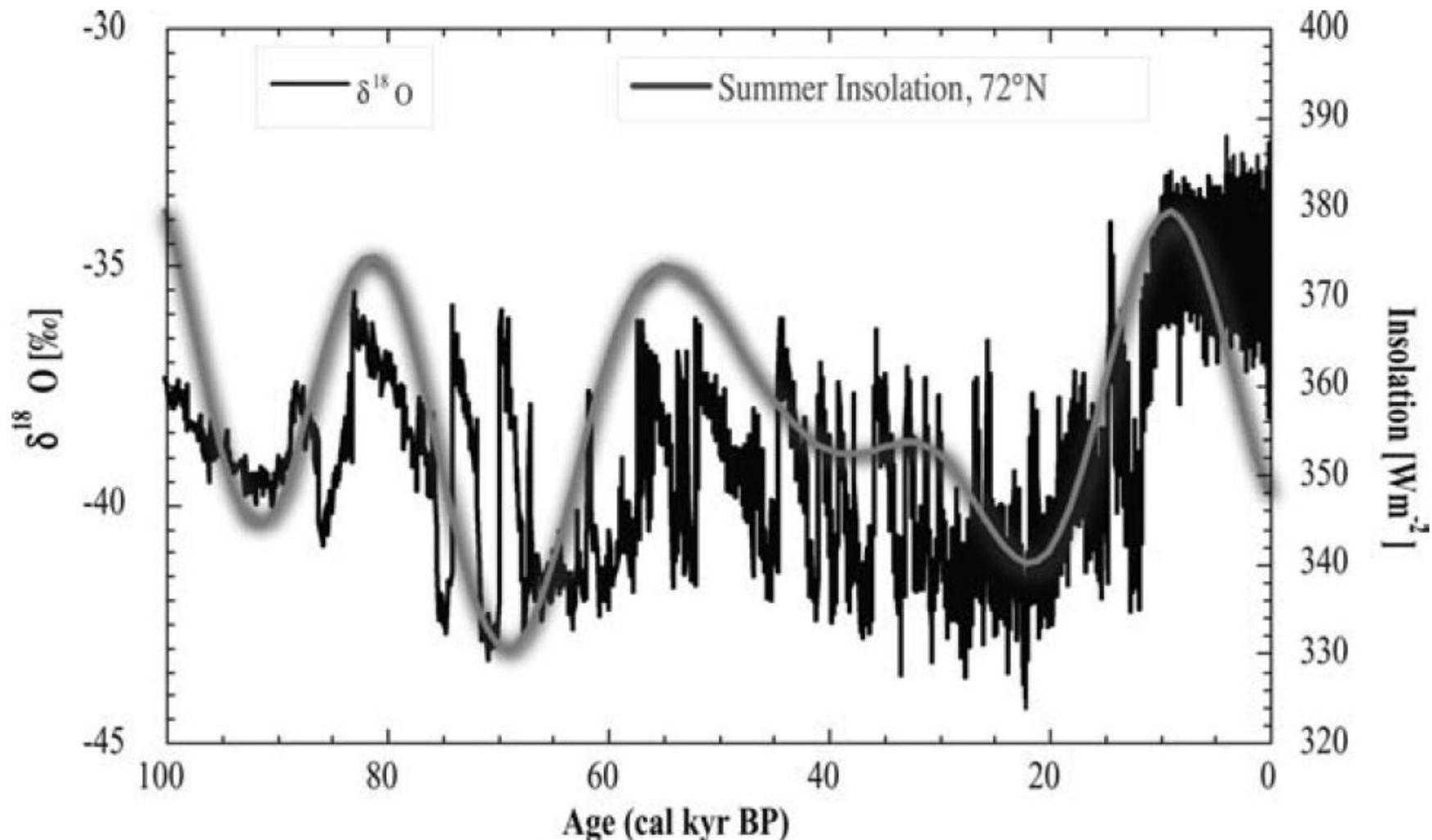
Климат Плейстоцена – похолодание и появление цикличности



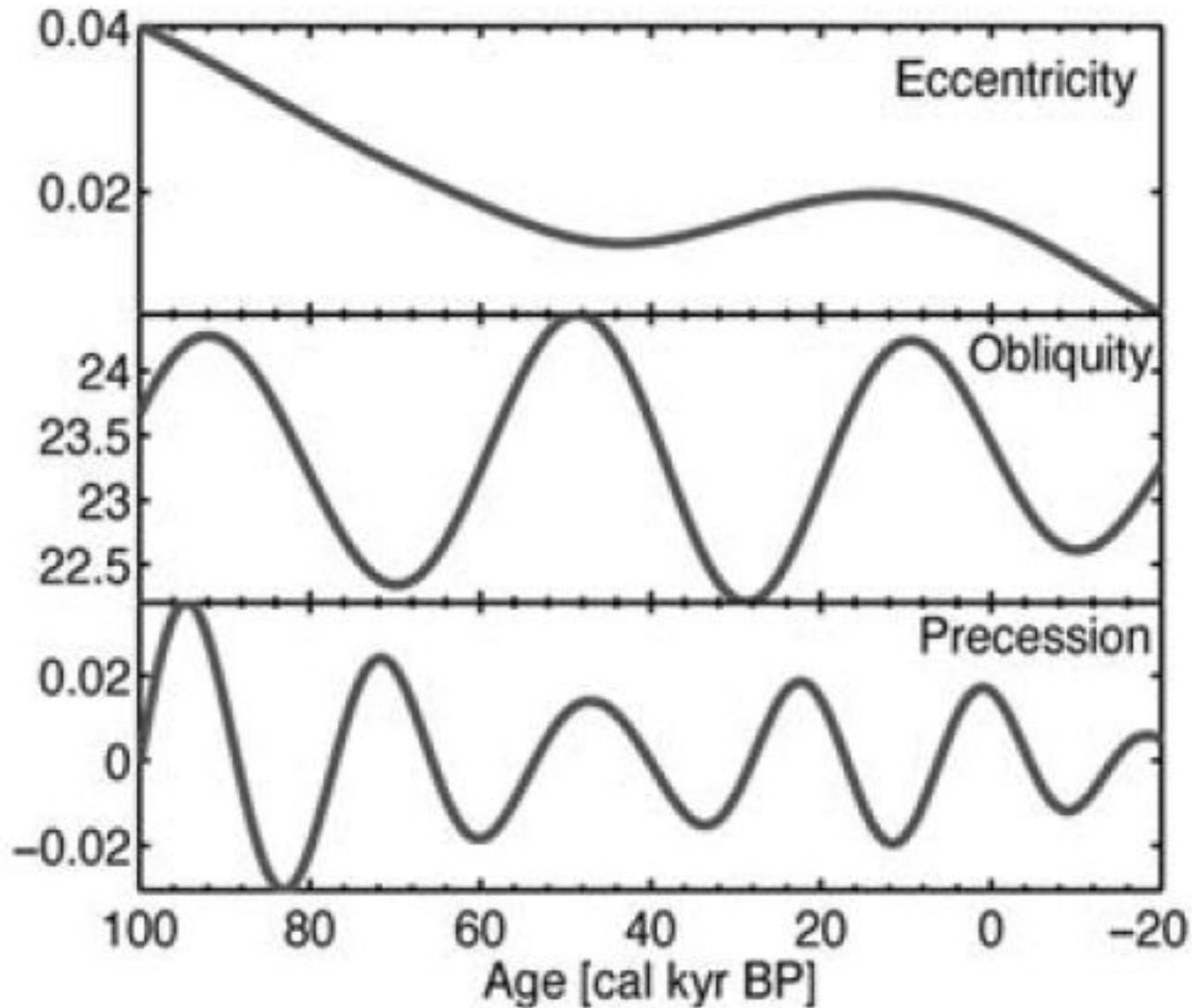
Возмущения орбиты Земли и климат



Моделирование изменений климата Гренландии по Миланковичу



Прогноз изменения орбиты Земли



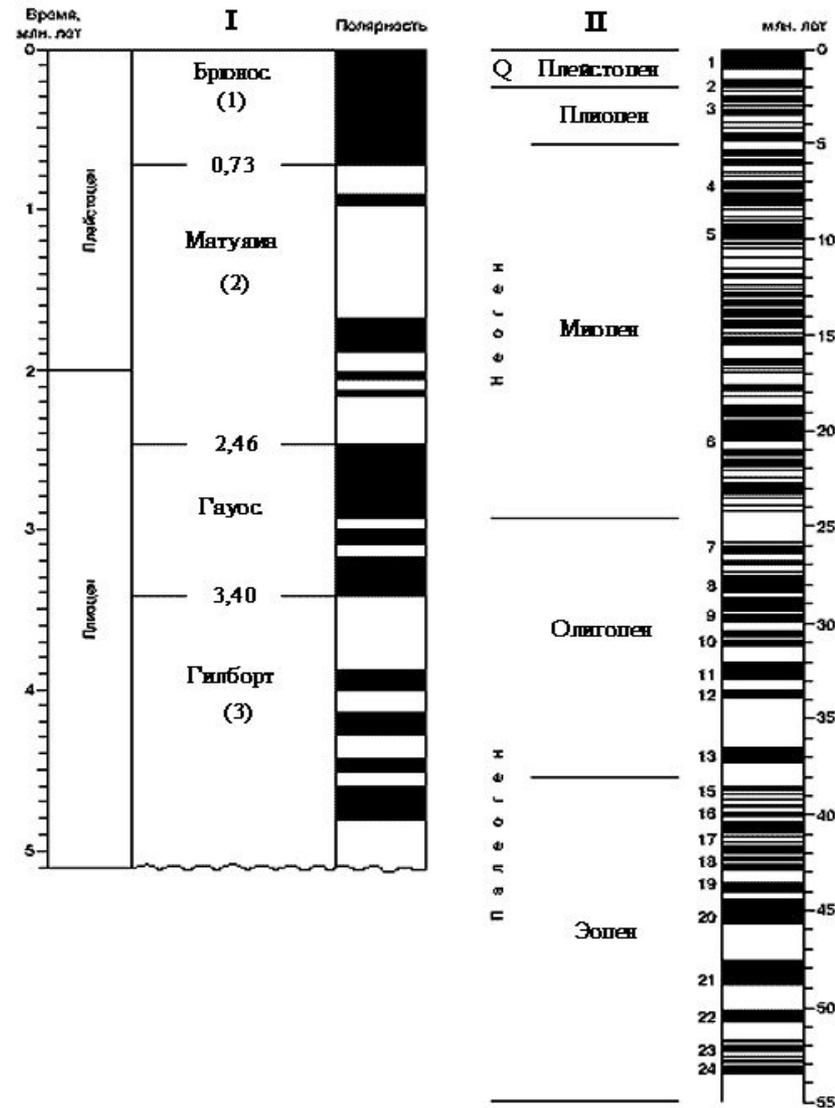
Земные факторы изменения климата

Группа геолого-географических гипотез предлагает внутренние причины для объяснения изменения климата в прошлом.

- **Изменение положения и размера материков:**
характерные времена изменения движения континентальных плит составляют десятки и сотни миллионов лет
- **Замедление вращения Земли**
среднее замедление составляет 7,6 секунды за тысячу лет, процесс должен быть регулярным
- **Изменение геомагнитного поля**
- **Вулканизм**

Изменение магнитного поля Земли

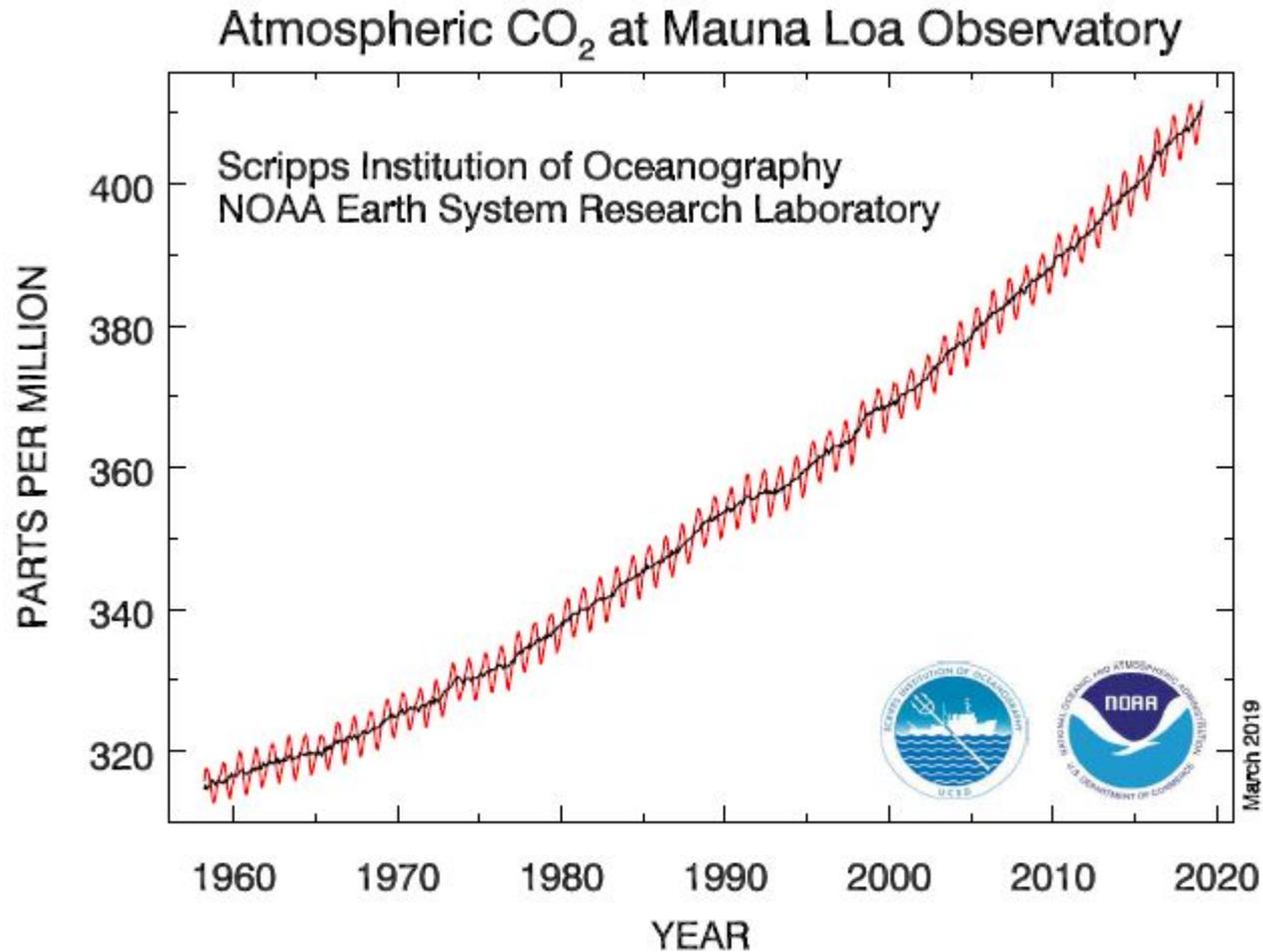
Магнитное поле Земли меняется по величине и по направлению. Остаточная намагниченность датированных образцов хранит историю геомагнитного поля на десятки млн. лет в прошлое. Обнаружены циклические изменения дипольного момента с характерными временами от тысяч до сотен тысяч лет. Кроме регулярных изменений наблюдались резкие изменения полярности магнитного диполя на противоположную. Их называют инверсиями.



Вулканизм

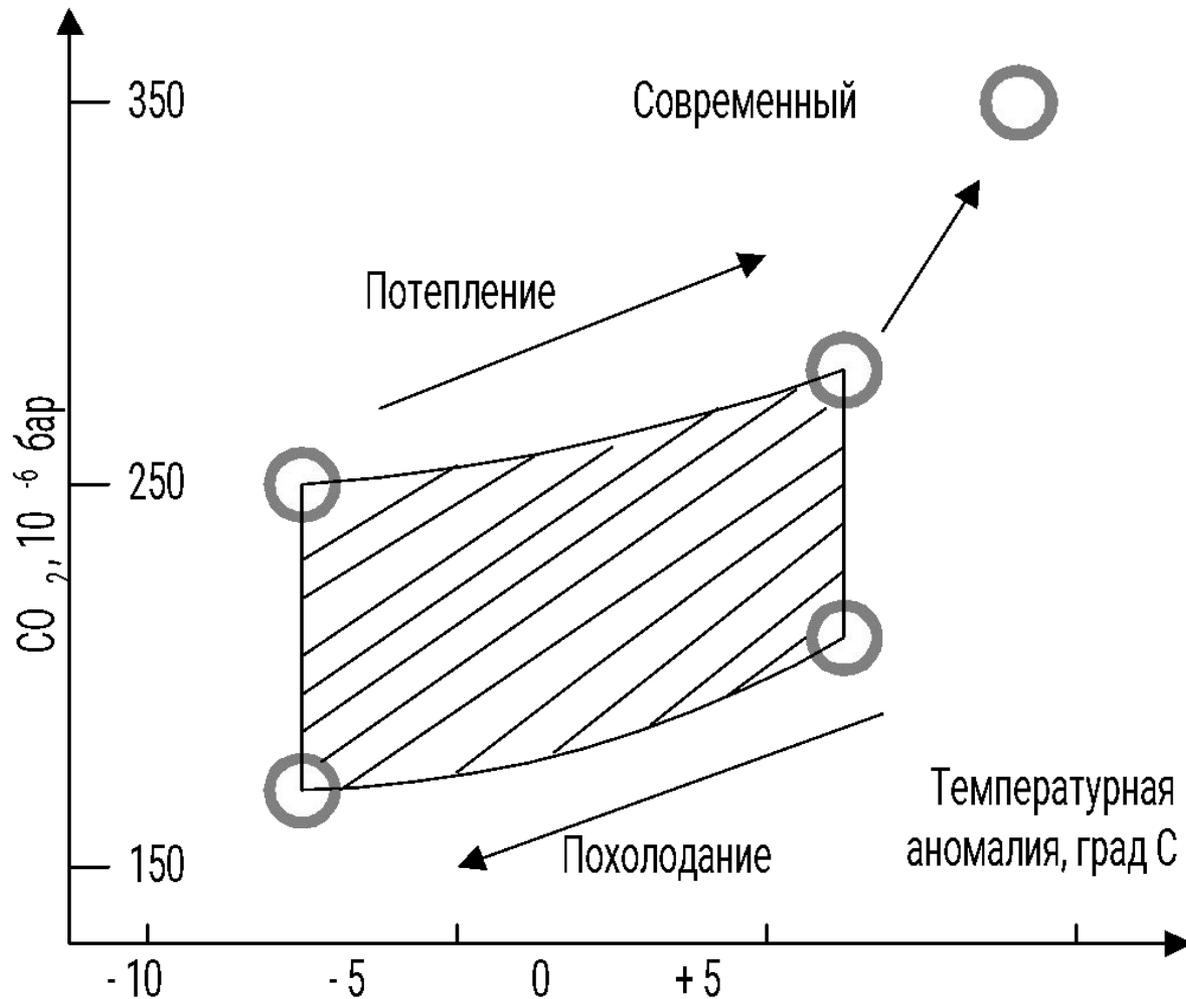
Основной механизм влияния извержения вулканов на климат – выброс в атмосферу газов и, что более важно, серных аэрозолей. Увеличение концентраций аэрозолей в стратосфере приводит к отражению солнечной радиации и уменьшению поверхностной температуры. Эта связь хорошо известна для крупнейших извержений исторического времени. «Год без лета» **1816 г.** в Европе явился следствием извержения индонезийского **вулкана Тамбора**. Две последующие зимы 1816 и 1817 гг. были для европейских стран самыми суровыми за время инструментальных наблюдений. Оценка соответствующего уменьшения глобальной температуры составляет $0,7^{\circ}\text{C}$. Извержение **вулкана Лаки** в Исландии в июне **1783 г.**, выбросило 12 км^3 лавы и объем газов, приведший к гибели урожая и 75 % домашних животных. Однако, очевидное воздействие вулканизма на погоду трудно распространить

Парниковые газы в атмосфере



Увеличение концентрации углекислого газа в приземном воздухе.

Температура и CO_2 в атмосфере (Восток, Антарктида)



Изменение климата - Темза, 1895



Иллюстрация: собственность проф. Ю. Бэра (ETH, Zurich)