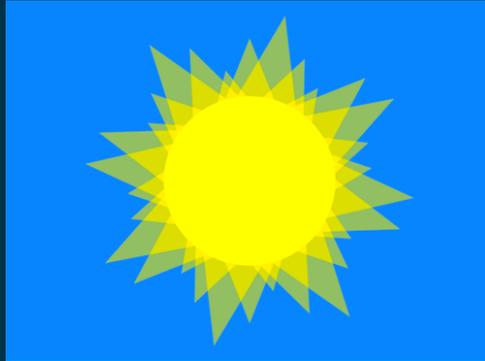


ИСТОРИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И КЛИМАТА ЗЕМЛИ

Ю.А. Наговицын

*Главная (Пулковская)
астрономическая обсерватория РАН*



ИСТОРИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И КЛИМАТ_аЗЕМЛИ

Ю.А. Наговицын

*Главная (Пулковская)
астрономическая обсерватория РАН*

Обоснование: что мы знаем?

- Одним из основных **космических** факторов, воздействующих на Землю, является Солнце и с ним - солнечная активность (СА)
- Известно, что солнечная активность оказывает влияние на целый ряд земных процессов (направление - Космическая погода)
- Солнечно-земные связи надежно зафиксированы для короткой временной шкалы (изменения в гелиосфере, магнитосфере Земли)
- **Проблема:** может ли солнечная активность воздействовать на длительные земные процессы (например, - климат, т.е. быть одним из климатообразующих факторов)?

План

- Проблема «космический климат».
- Солнечная активность и климат Земли.

Проблема «Космический климат»



Определения:

- **Солнечная активность** – изменения магнитного поля Солнца на различных пространственных и временных масштабах.
- **Космическая погода** – весь комплекс внешних по отношению к Земле космических факторов, способных влиять на земные процессы (на короткой врем. шкале)



Проблема «Космический Климат» (рабочие определения):

- Долговременные тенденции Космической Погоды
- Совокупность солнечно-земных связей, действующих на длительных временах
- Совокупность внешних космических факторов, могущих влиять на земной климат

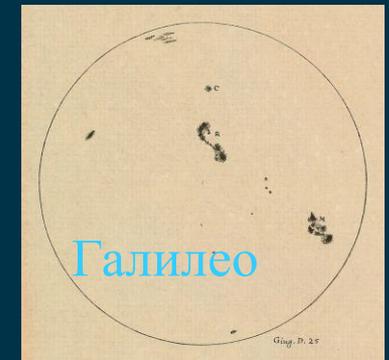
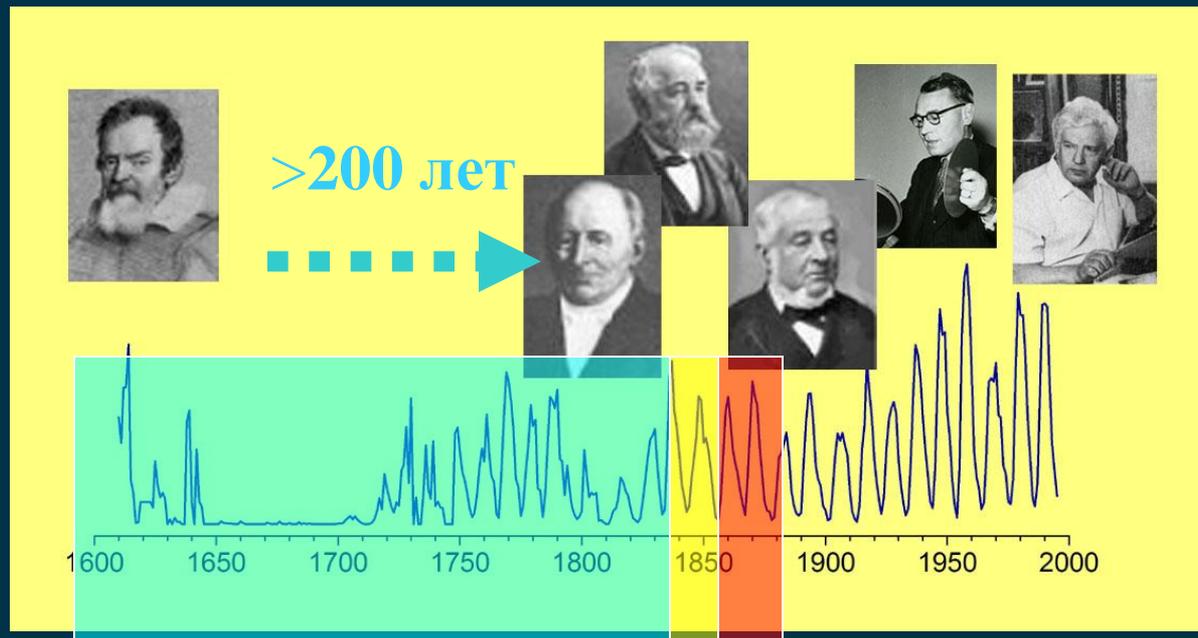
Цели

- Получение физически информативных комплексных данных о динамике солнечного магнитного поля, геомагнитного поля и ММП на больших временных масштабах.
- Качественный и количественный анализ эволюции солнечной активности на основе реконструкций поведения различных компонент магнитного поля Солнца на длительных временах.
- Исследование прогностических сценариев вариаций активности Солнца на интервале десятков - сотен лет
- Исследование связи солнечной активности и климата Земли.

Цели

- Получение физически информативных комплексных данных о динамике солнечного магнитного поля, геомагнитного поля и ММП на больших временных масштабах.
- Качественный и количественный анализ эволюции солнечной активности на основе реконструкций поведения различных компонент магнитного поля Солнца на длительных временах.
- Исследование прогностических сценариев вариаций активности Солнца на интервале десятков - сотен лет
- **Исследование связи солнечной активности и климата Земли.**

Проблема наблюдательных данных



Несмотря на то, что солнечные пятна были открыты в 1610г., их регулярные наблюдения начались только в 1848 г.!

Задача: Необходимо объединить различные (прямые и косвенные) источники данных для реконструкции длительного поведения СА в прошлом

Методы и подходы:

- а) Переход от традиционных статистических индексов (числа Вольфа, числа групп пятен и т.п.) к физическим параметрам: магнитный поток, напряженность поля и т.п. (*Наговицын, ПАЖ, 2005*)
- б) Учет дифференциального характера связей между параметрами СА на различных временных масштабах. Для это предложены математические методы MSR и DPS (*Nagovitsyn et al, Solar Phys., 2004; Наговицын, ПАЖ, 2006*), основанные на вейвлет-преобразовании и разложении по псевдофазовому пространству Такенса соответственно.
- в) Стремление к максимально полному описанию процессов СА с использованием всего комплекса имеющихся данных, а не данных какого-либо одного типа («принцип свидетелей» (*Nagovitsyn et al, Solar Phys., 2004*)).

«История Солнца» (мультимасштабное описание поведения СА на длительных временах): возможности реконструкций

Временные шкалы:

- 100-150 лет – Служба Солнца
- 400 лет – инструментальные наблюдения
- 1000-2000 лет – не прямые данные (полярные сияния; пятна, видимые невооруженным глазом; ^{14}C , ^{10}Be)
- Сверхтысячелетняя шкала (Голоцен) – ^{14}C (^{10}Be)

Общие подходы к задаче реконструкции индексов солнечной активности на большой временной шкале

- MSR - Метод кратномасштабных регрессий.

Вейвлет-преобразование:
$$\mathbb{W}_\psi x(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_{ab}^* dt = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt$$

$$Y = f(X_m): Y(\omega, t) = f \mathbb{K}_m(\omega, t)$$

$$\mathbb{W}Y(2^q, t) = c_0^q + c_1^q \mathbb{W}X_1(2^q, t) + c_2^q \mathbb{W}X_2(2^q, t) + \dots + c_m^q \mathbb{W}X_m(2^q, t)$$

- DPS – Метод разложения по компонентам псевдофазового пространства

$$Y(\omega, t) = f \mathbb{K}(\omega, t)$$

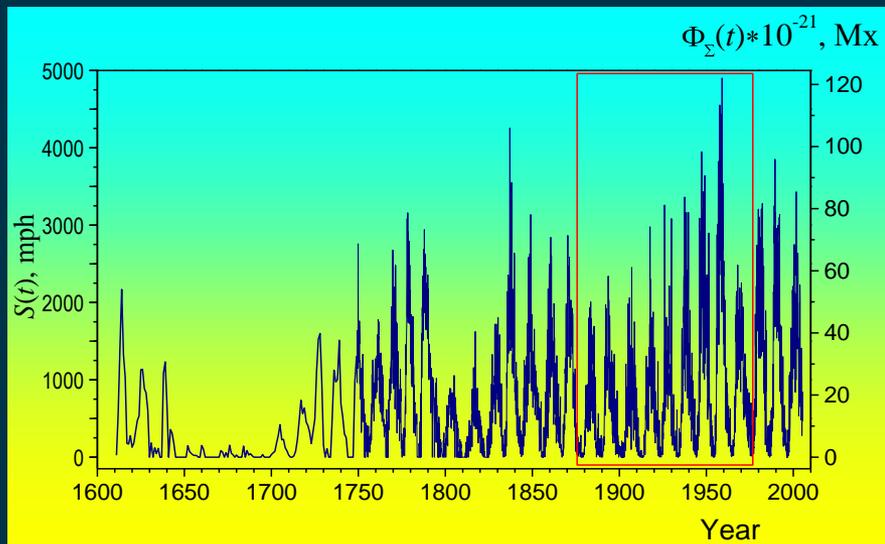
$$\left\{ X(t), X(t-\Delta), X(t+\Delta), \dots, X(t-(n-1)\Delta/2), X(t+(n-1)\Delta/2) \right\}$$

$$Y(t) = Y_0 + a_1 X(t) + a_2 X(t-\Delta) + a_3 X(t+\Delta) + \dots + a_{n-1} X(t-(n-1)\Delta/2) + a_n X(t+(n-1)\Delta/2)$$

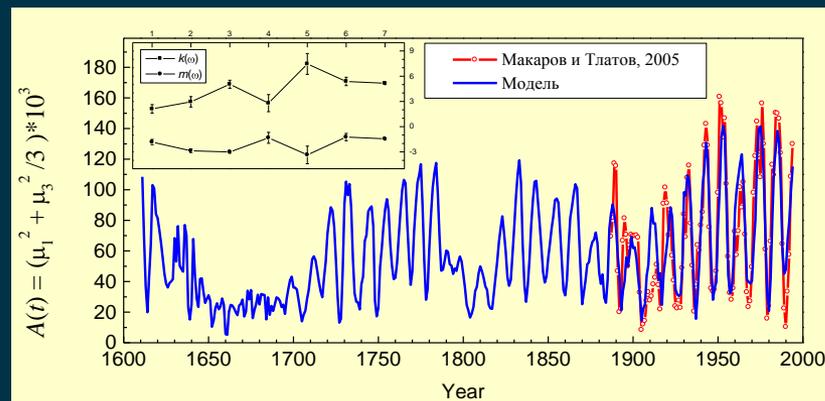
Ref: Nagovitsyn Yu.A. et al - Solar Physics, 224, 2004.

Реконструкции различных индексов СА

Ряд суммарного пятенного магнитного потока $\Phi_{\Sigma}(t)$ на 400-летней временной шкале

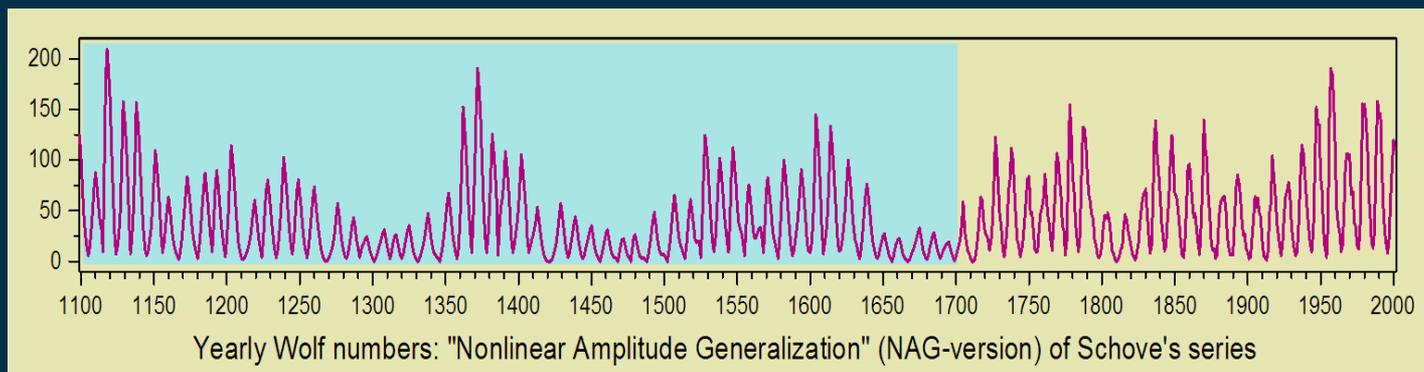


Ряд индекса крупномасштабного магнитного поля $A(t)$ на 400-летней временной шкале



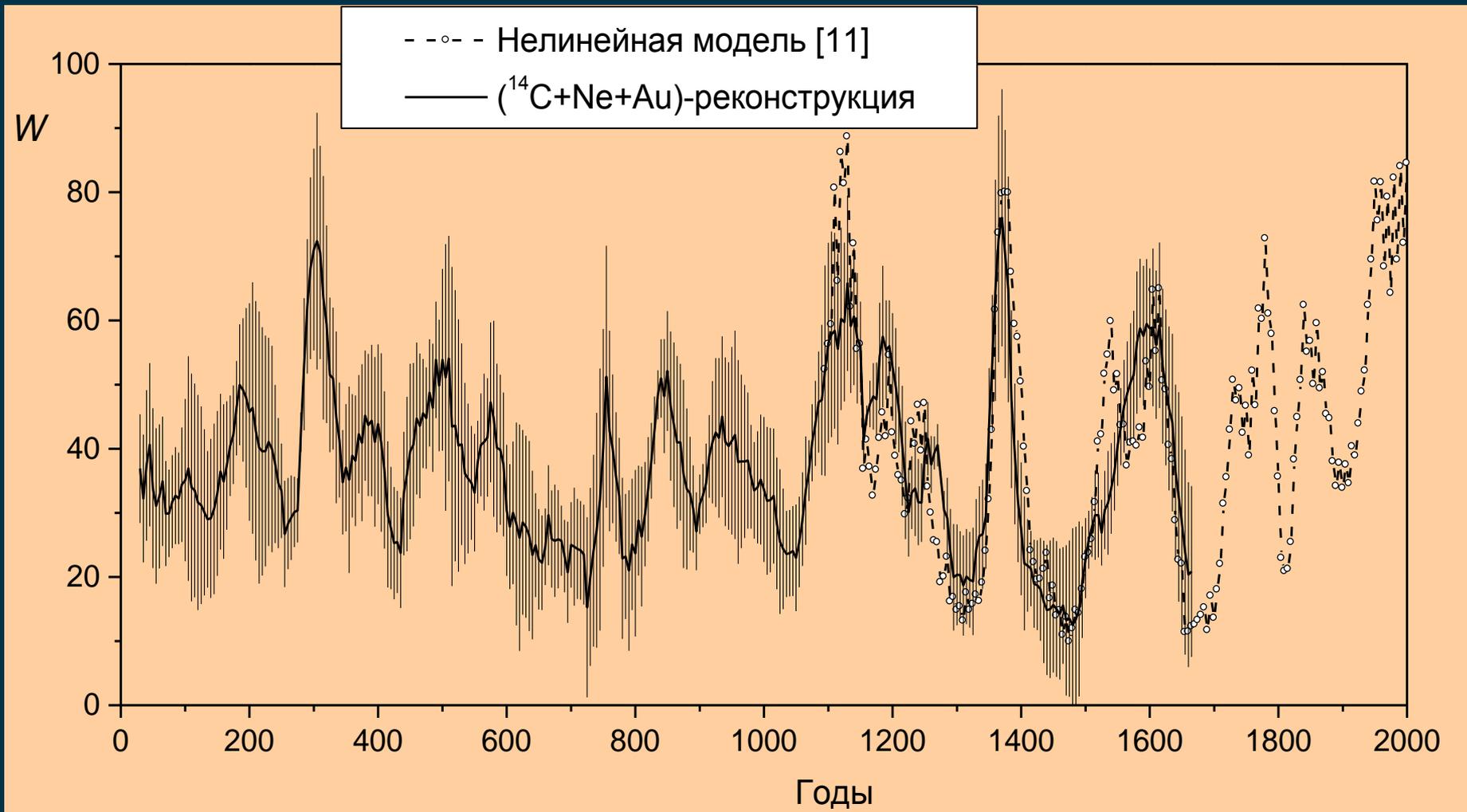
Ref: Nagovitsyn Yu.A. Astronomy Letters. 2005, 2006

Среднегодовые данные на 1000-летней шкале: «Нелинейная версия W»

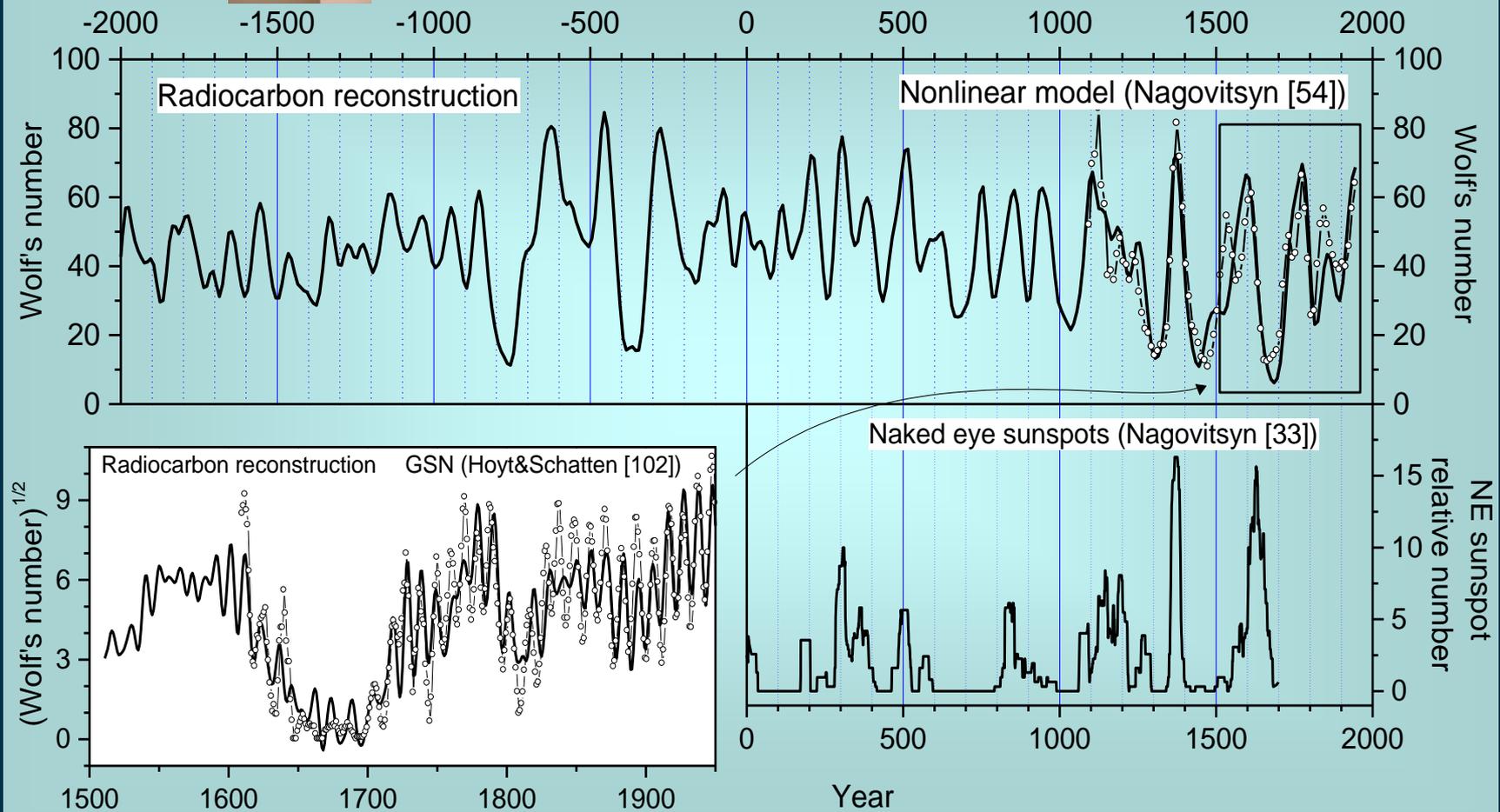
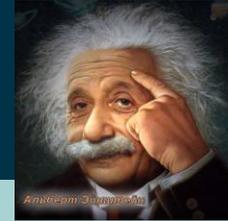


Nagovitsyn Yu.A.
Astronomy Letters.
1997.

Двухтысячелетняя шкала: MSR-метод по трем источникам данных



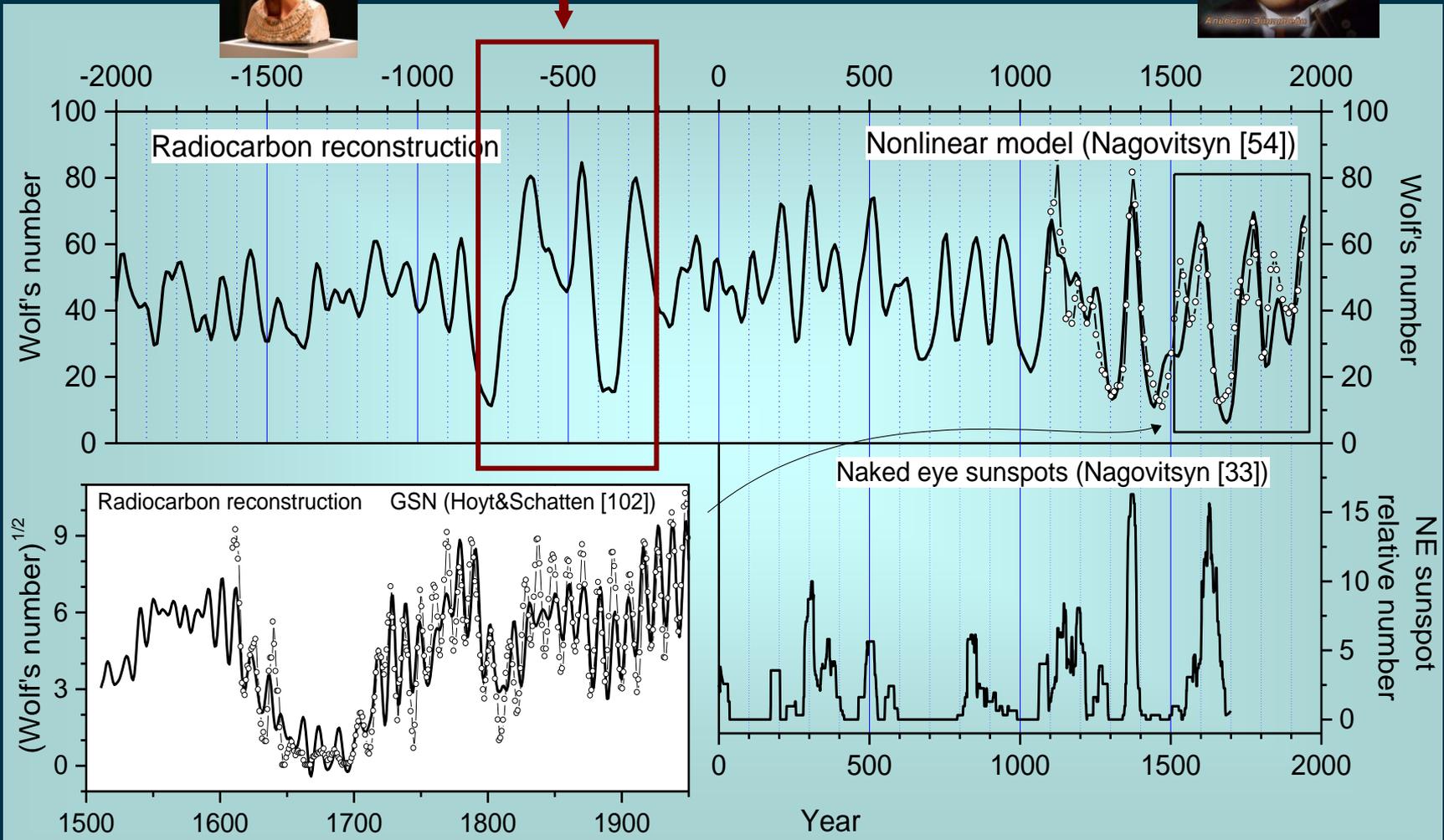
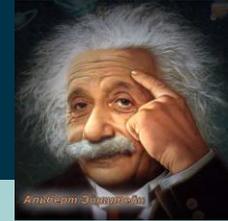
Сверхтысячелетняя шкала: MSR-метод



Сверхтысячелетняя шкала: MSR-метод



К.Ясперс:
Осевое время





<http://www.gao.spb.ru/english/database/esai/>

Результаты реконструкции поведения СА на различных временных шкалах:

Extended time series of Solar Activity Indices (ESAI) – база

данных о солнечной активности (СА), включающая, в частности, новые временные ряды для изучения изменений солнечного магнитного поля и его влияния на Землю на длительных временах.

Contact address: nag@gao.spb.ru (Dr. Yury Nagovitsyn)
Russian Academy of Sciences, Central astronomical observatory at Pulkovo,
Pulkovskoe shosse, 65/1, Saint-Petersburg, 196140,
Russia

Extended time series of Solar Activity Indices (observational, synthetic and simulated data)

→ [Read me](#)

→ [GRAPHICS](#)

→ ASCII FILES

– *Observational sets*

- ◆ [monthly sunspot areas \(Greenwich general system\), 1821-1989](#)
- ◆ [yearly sunspot areas \(Greenwich general system\) for N- and S- hemispheres, 1821-1994](#)
- ◆ [yearly mean latitudes of sunspots for N- and S- hemispheres, 1854-1985](#)

– *Synthetic set*

- ◆ [yearly polar faculae numbers \(Mt. Wilson general system\) for N- and S- hemispheres, 1837-1999](#)

– *Simulated sets*

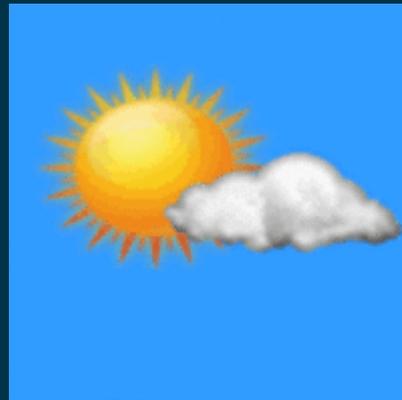
- ◆ [yearly Wolf numbers \(Zurich-International general system\), 1090-2002](#)
- ◆ [yearly polar faculae numbers \(Mt. Wilson general system\), 1705-1999](#)



Supported by grants:

INTAS 2000-0752 "Key parameters of Space Weather",
INTAS 2001-0550 "The Solar-terrestrial climate link in the past millennia and its influence on future climate",
and partly – Federal Scientific and Technical Program "Astronomy-1105",
Program of Presidium of Russian Academy of Sciences "Non-stationary phenomena in astronomy",
Program Division for Physical Sciences of RAS No 16 "Solar Wind",
and Russian Fund for Basic Researches No 01-07-90289.

Солнечная активность и климат Земли



Определение:

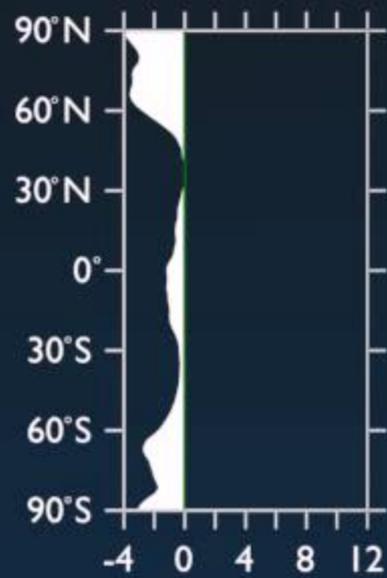
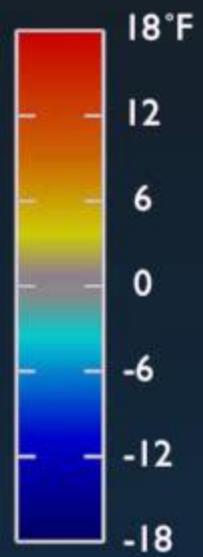
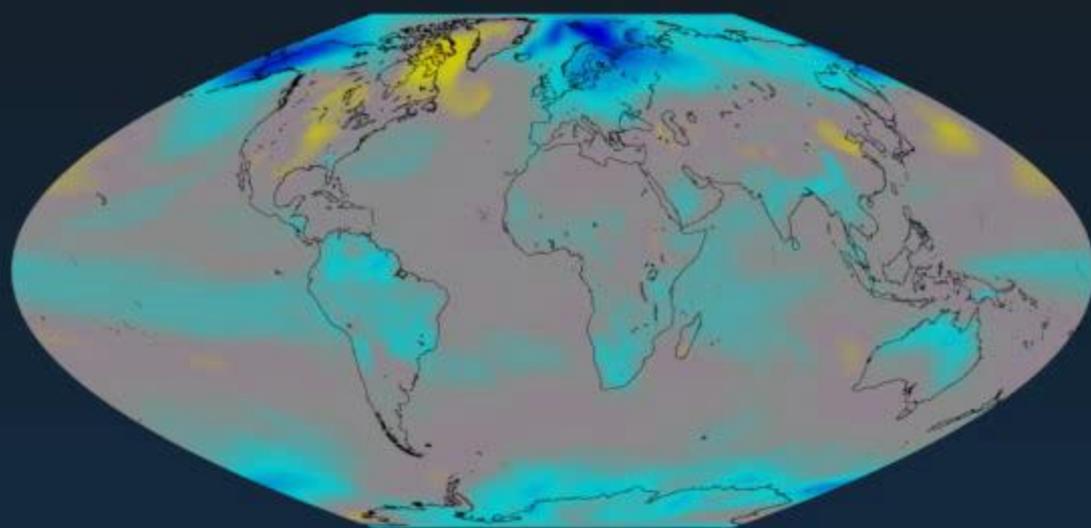


- **Климат** (глобальный) – совокупность статистических состояний физической системы океан — суша — атмосфера Земли на протяжении нескольких десятилетий

Техногенное глобальное потепление ?

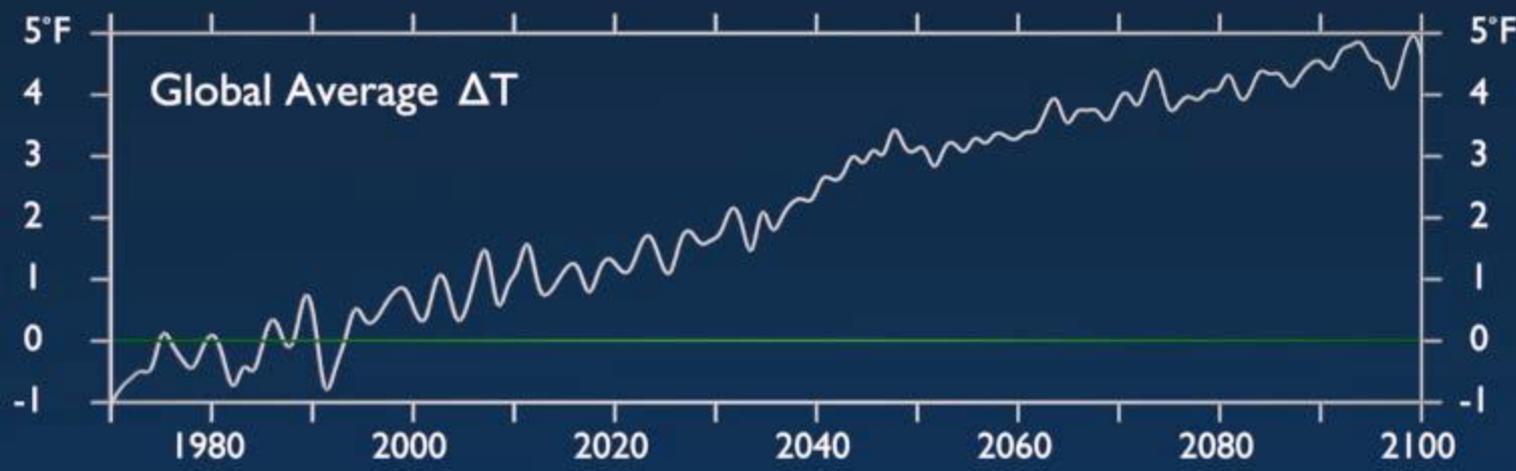


SURFACE AIR TEMPERATURE ANOMALIES



ΔT Anomalies Relative to 1971-2000 Mean

Zonal Average (°F)

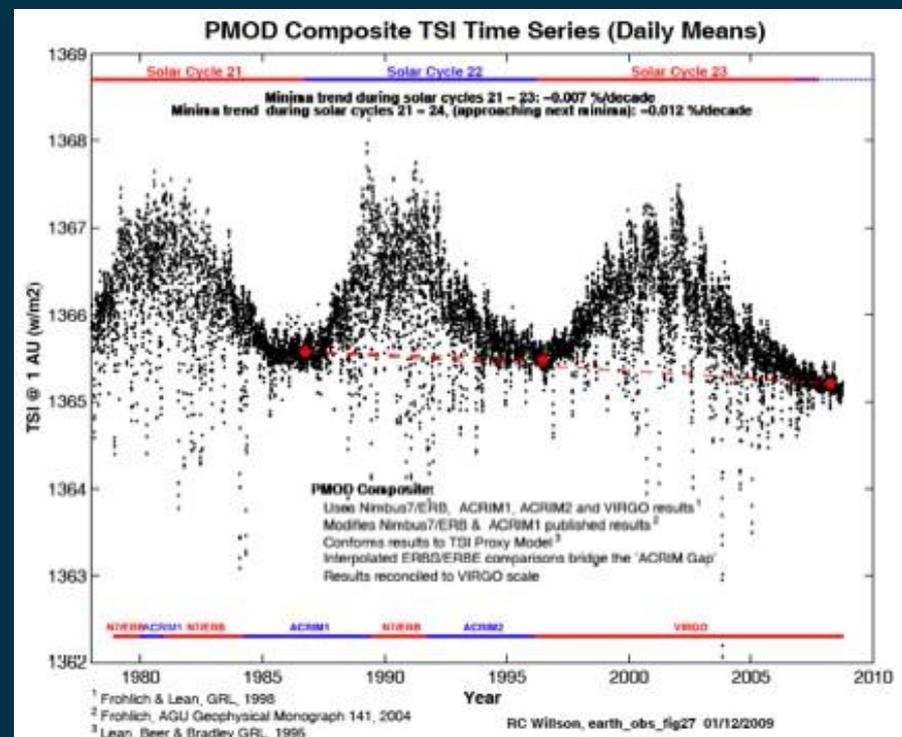


1971
(Model Year)

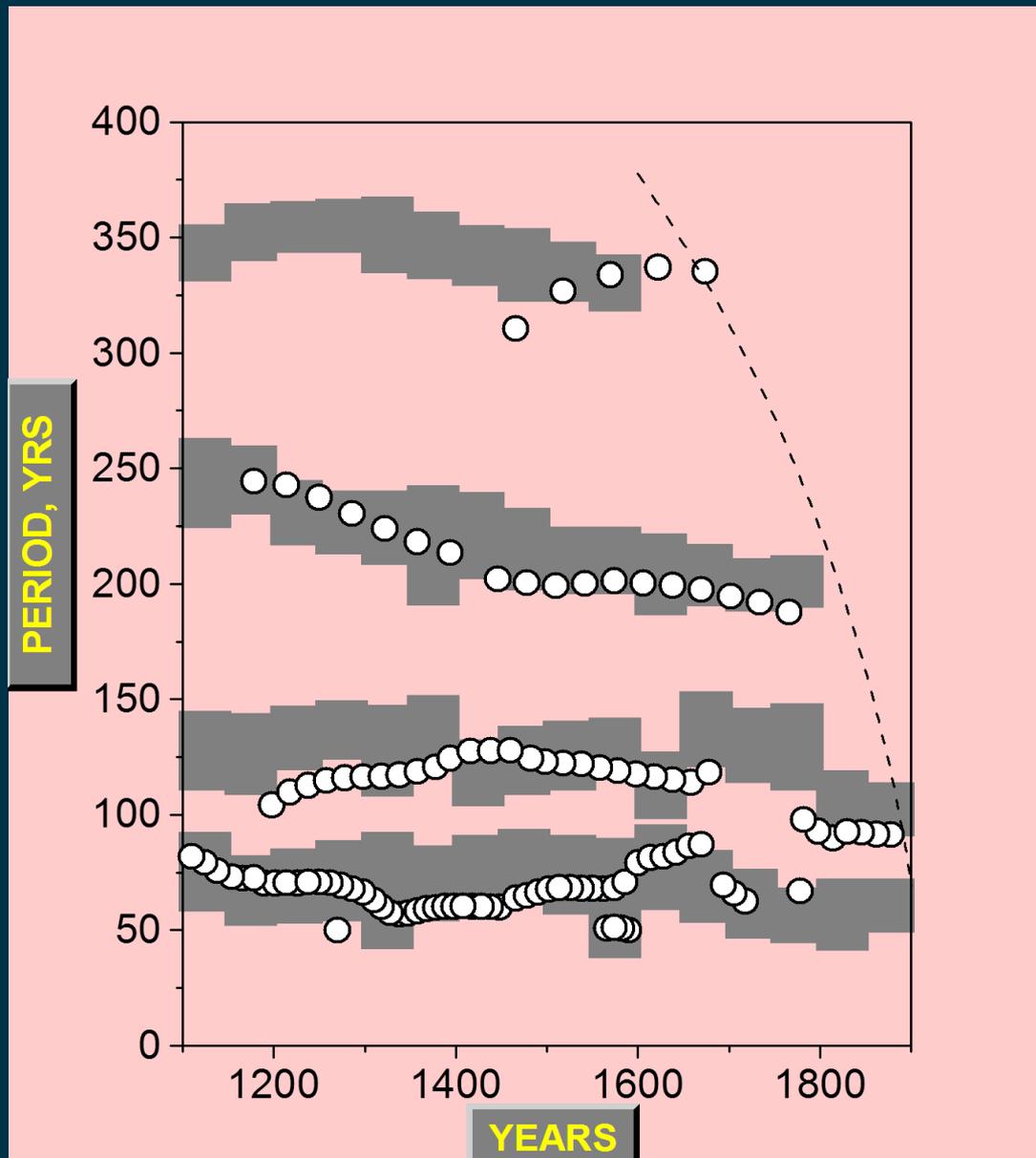
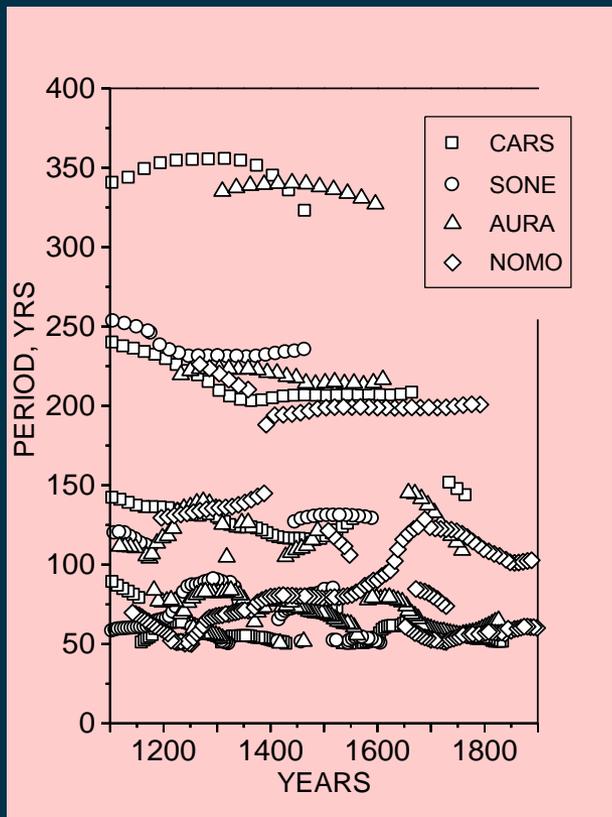
GFDL CM 2.1
Climate Model

Два направления в понимании изменений климата Земли

- «Правоверные» климатологи: современное потепление климата обусловлено парниковым эффектом вследствие техногенной деятельности цивилизации. (IPCC).
- «Еретики»: изменения климата обязаны практически полностью изменениям солнечной активности (и связанной с ней TSI) и последующим геофизическим процессам (гл. обр. – гелиофизики).



Долгопериодические изменения СА и климата Земли



Ref: Nagovitsyn Yu.A. et al - Solar Physics, 224, 2004.

Обоснование: проблемы

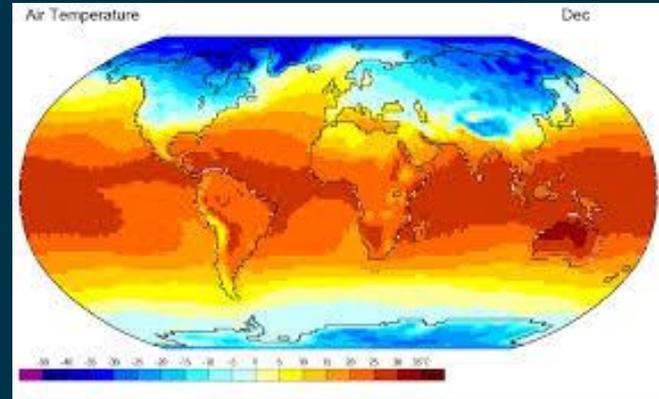
- Проблема изменений климата Земли: какие состояния и эпизоды представляют климат Земли в целом?
- Проблема современного потепления климата: насколько оно уникально?
- Проблема вклада эндогенных и экзогенных (космических) источников в изменения на Земле: какие модели строить, какие процессы параметризовать?
- Проблема характерных времен: как работает климатическая система на разных временных шкалах, каков вклад солнечной активности в эти изменения?

Обоснование: проблемы

- Проблема изменений климата Земли: какие состояния и эпизоды представляют климат Земли в целом?
- Проблема современного потепления климата: насколько оно уникально?
- Проблема вклада эндогенных и экзогенных (космических) источников в изменения на Земле: какие модели строить, какие процессы параметризовать?
- Проблема характерных времен: как работает климатическая система на разных временных шкалах, каков вклад солнечной активности в эти изменения?

Основные климатообразующие факторы:

- Атмосфера
- Гидросфера
- Литосфера
- Криосфера
- Биосфера (+техносфера?)
- Солнце (светимость, солнечная активность)



Задача в рамках проблемы «Космический Климат»: Каков вклад солнечной активности в изменения климата для разных периодов вариаций СА (для времен до тысяч лет)?

Подход:

$$T(t) = f(S(t))$$



$$T(t, \omega) = f(S(t, \omega))$$

Модель:

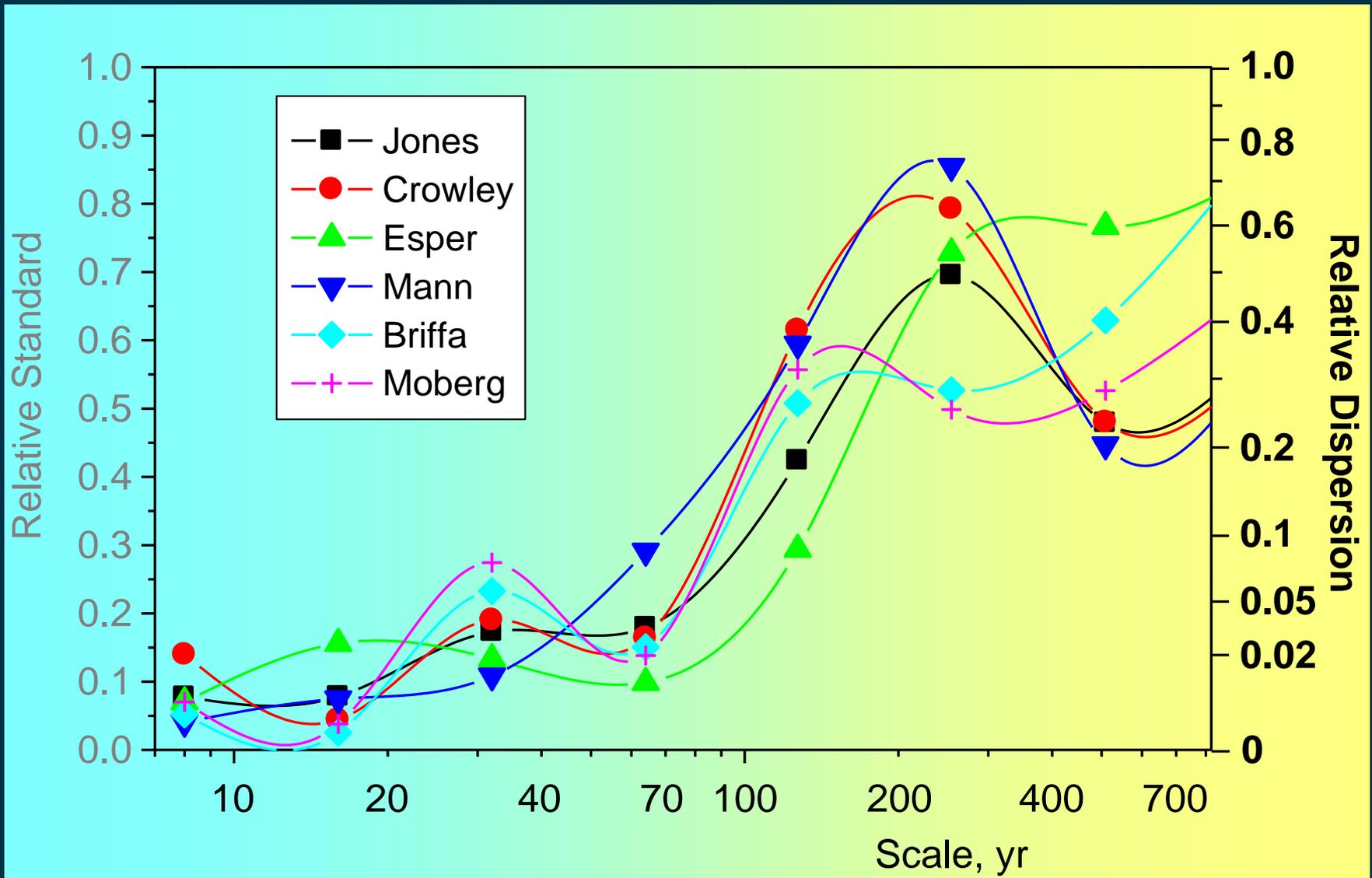
$$a(\omega)S(\omega, t) + b(\omega)\dot{S}(\omega, t) = T^*(\omega, t)$$

$$\begin{cases} \dot{n}_0 = -kn_0 - (\sum_{i \neq 0} c_{0i})n_0 + \sum_{i \neq 0} c_{i0}n_i + S \\ \dot{n}_1 = -kn_1 - (\sum_{i \neq 1} c_{1i})n_1 + \sum_{i \neq 1} c_{i1}n_i \\ \dots \\ \dot{n}_m = -kn_m - (\sum_{i \neq m} c_{mi})n_1 + \sum_{i \neq m} c_{im}n_i \end{cases}$$

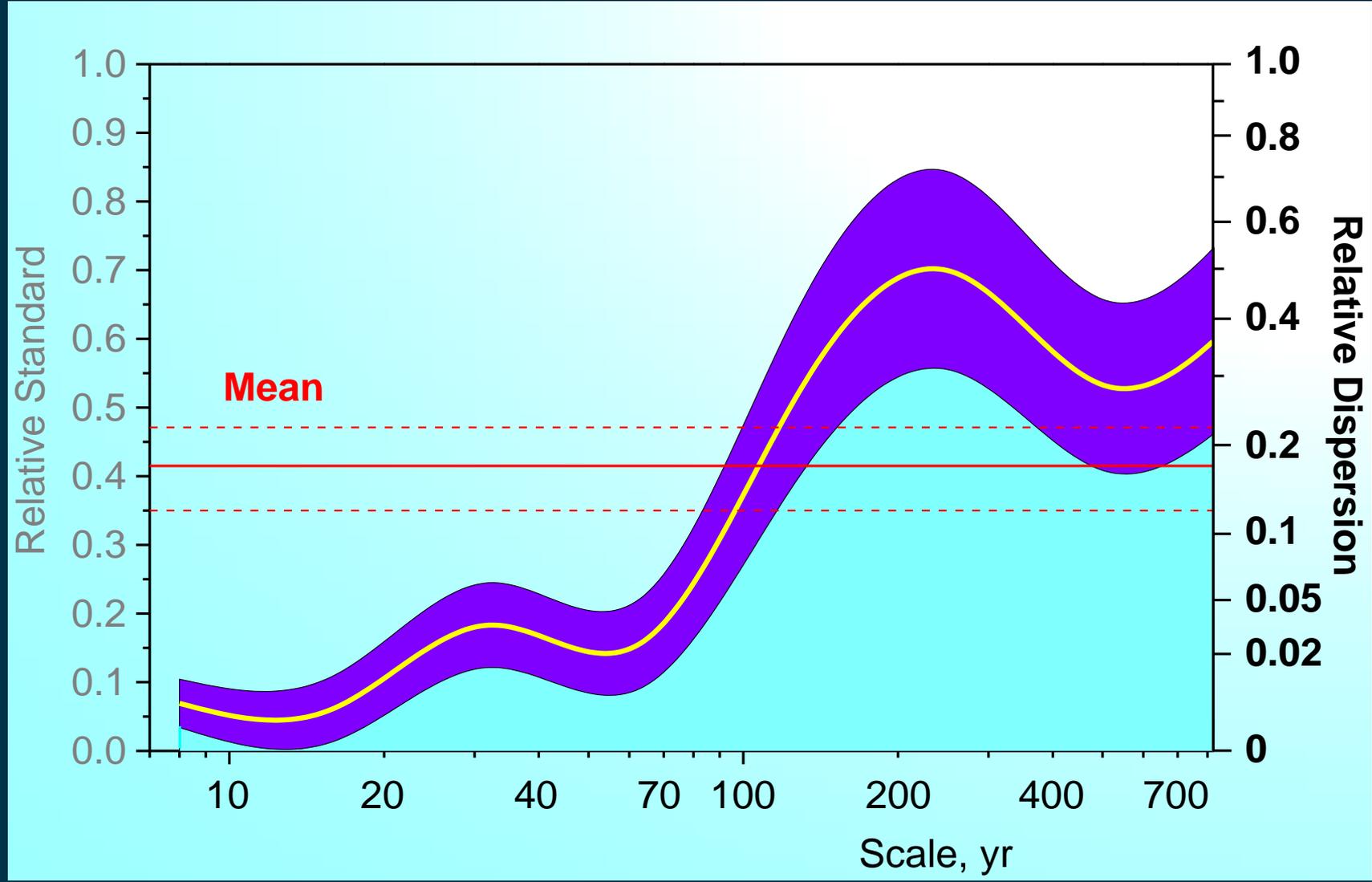


$$k = \sigma^2 T^*(\omega, t) / \sigma^2 T(\omega, t)$$

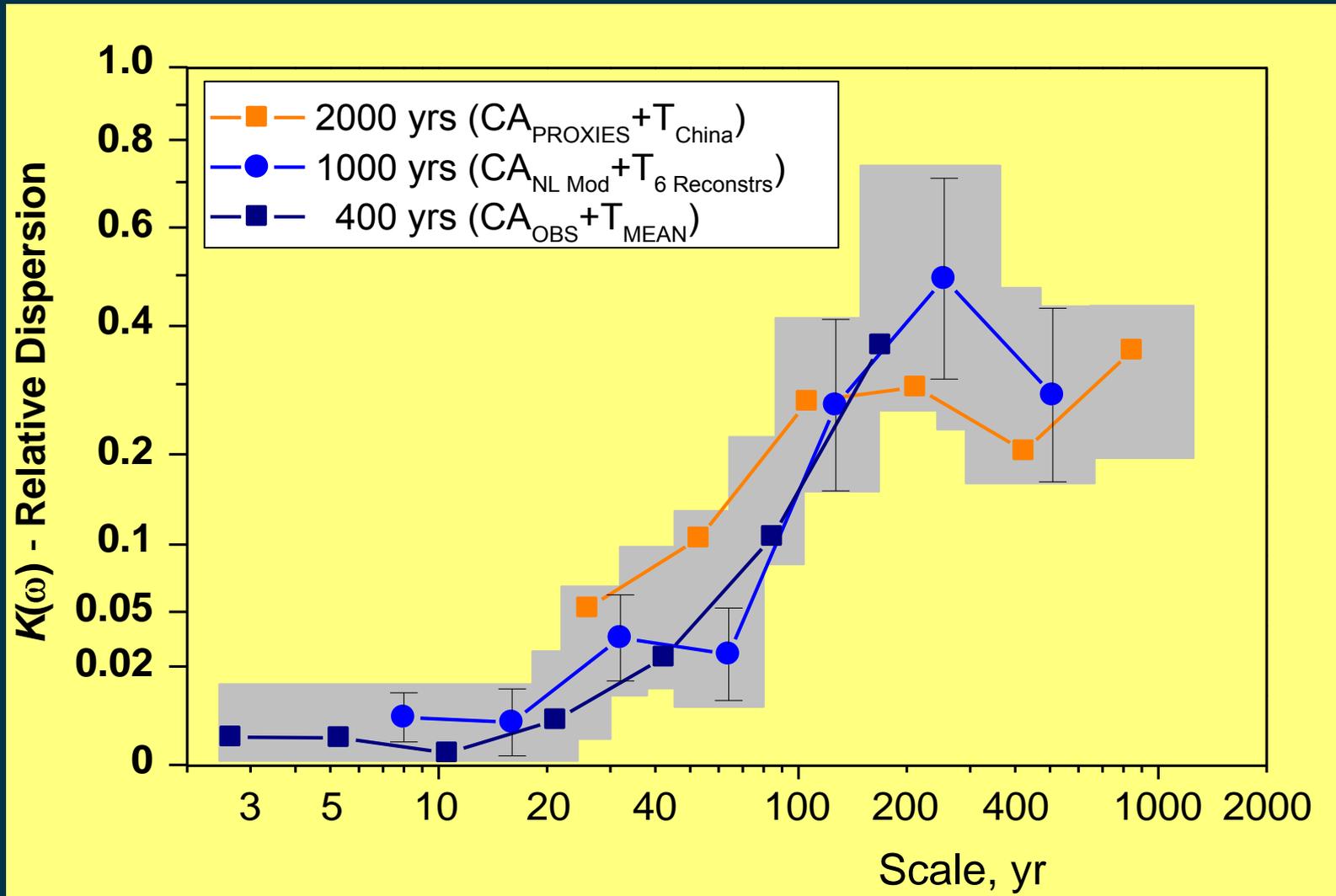
Вклад в изменения климата солнечной активности для разных временных шкал



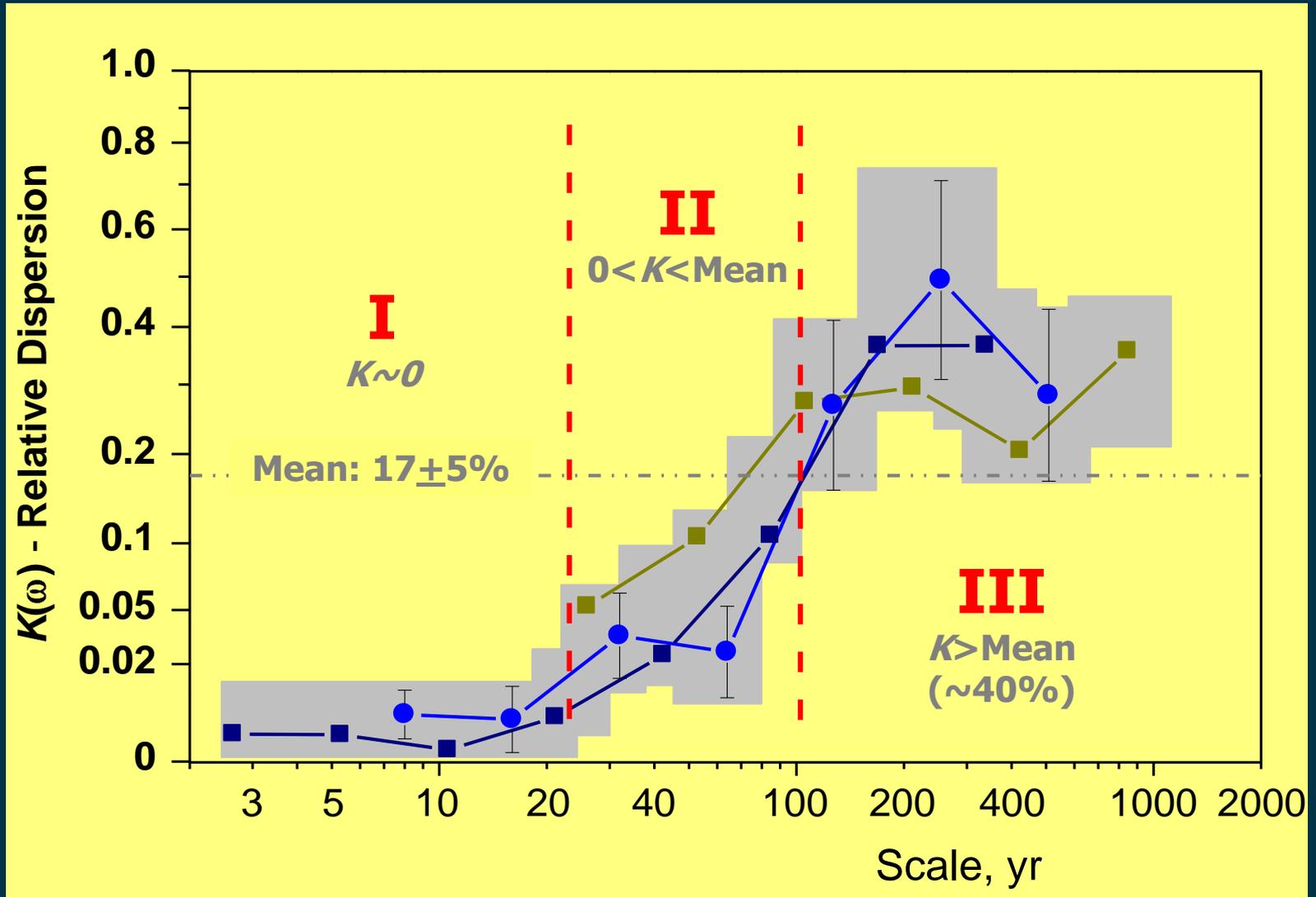
Вклад в вариации земного климата СА для разных врем. шкал: среднее по 6 реконструкциям



Вклад в вариации земного климата солнечной активности для разных временных шкал



Вклад в вариации земного климата солнечной активности для разных временных шкал

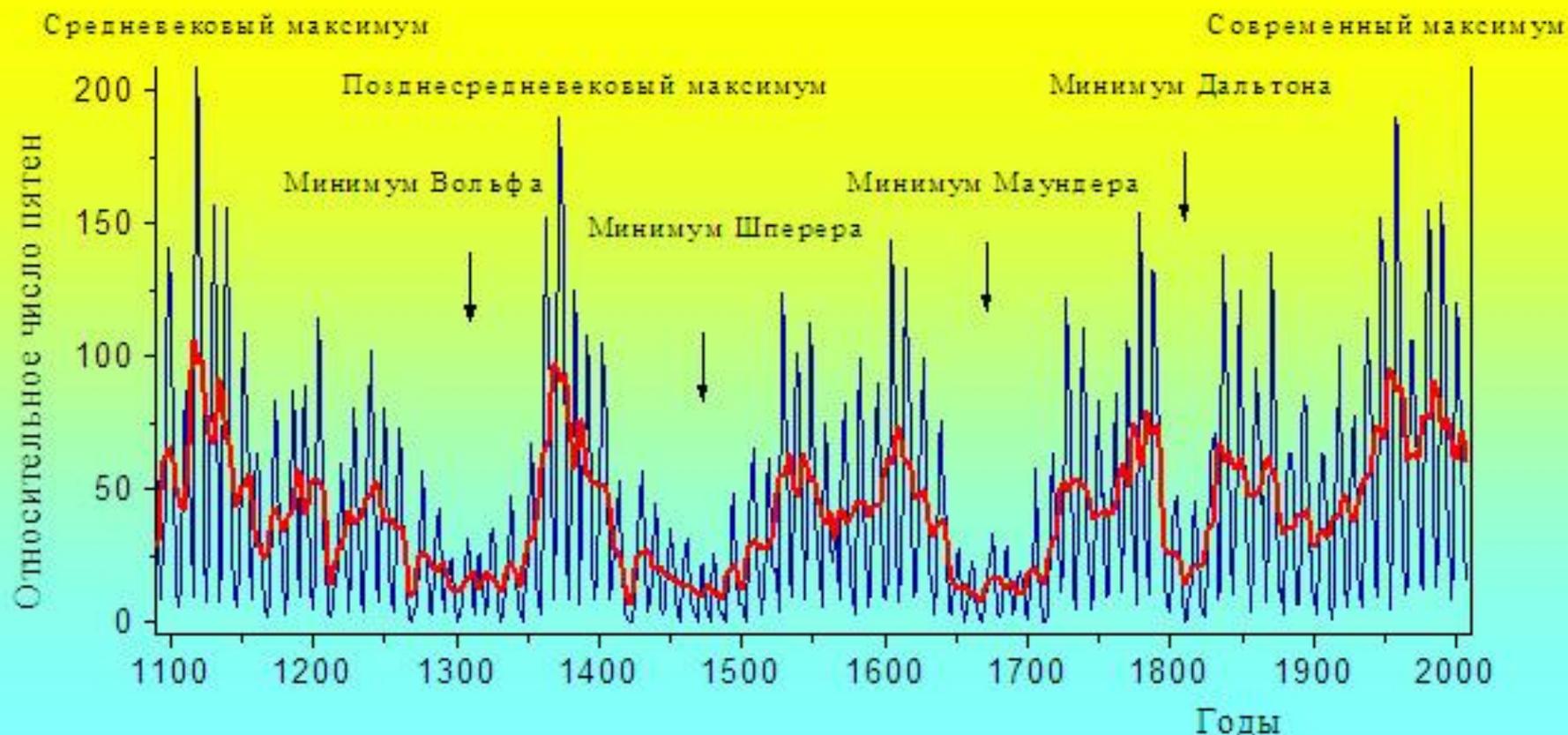


Сопоставление временных шкал I-III и состава климатической системы:

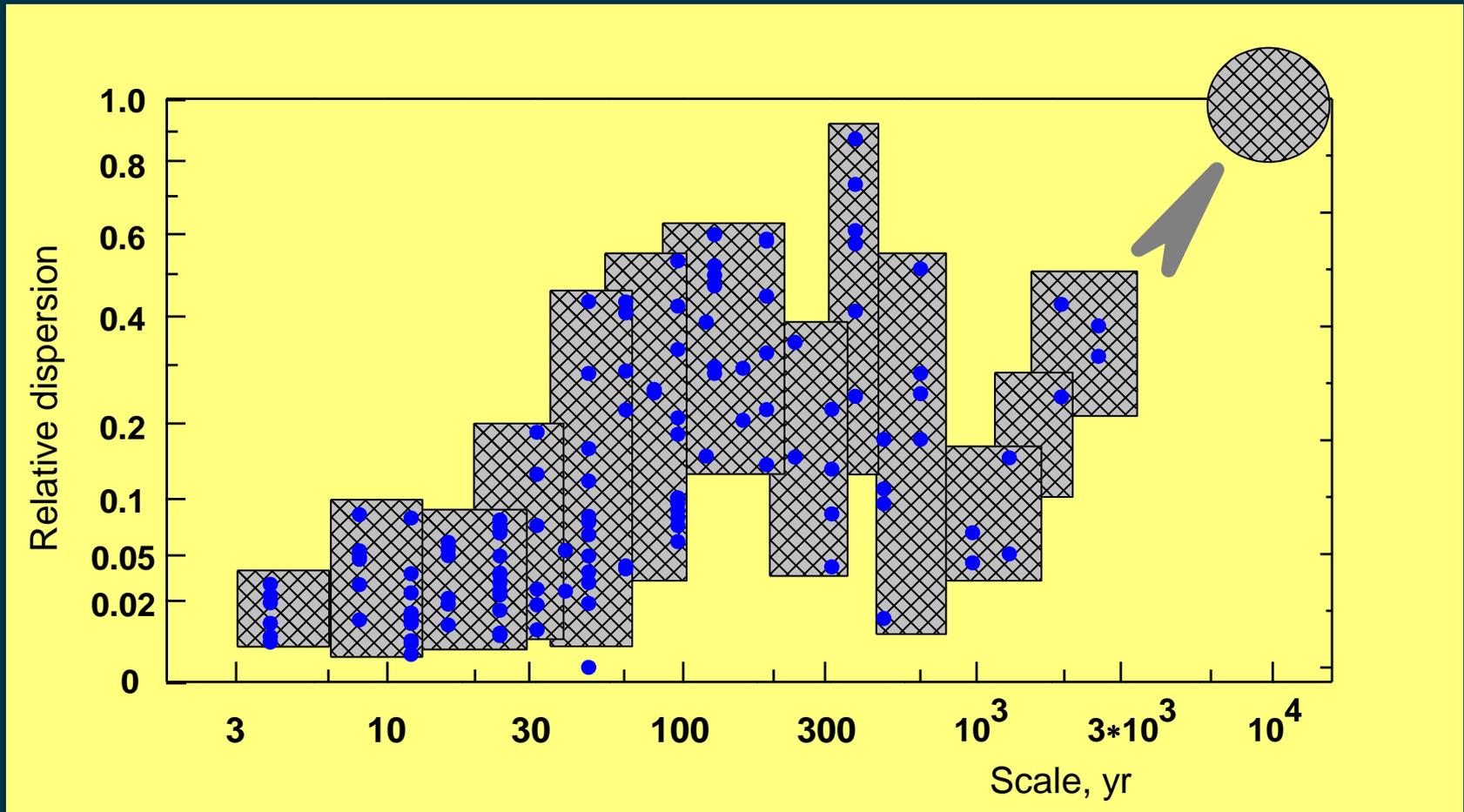
- Шкала I: погода, а не климат
- Шкала II – десятки лет (слабая зависимость от СА, $k < 17\%$): климатическая система состоит из атмосферы, деятельного слоя Океана, сезонного снежного покрова, морского льда; внешние воздействия создаются потоком солн. энергии, парниковыми газами, фоновым состоянием глубокого Океана и др. [Кислов А.В., Климат в прошлом, настоящем и будущем, 2001]
- Шкала III – сотни лет ($k \sim 30-40\%$): в климатическую систему входит весь Океан с вытекающими отсюда последствиями для глобальной карбонатной системы, определяющими, в частности содержание CO_2 в атмосфере [там же].

Вывод: для построения адекватной модели не достаточно найти механизм воздействия СА на климат. Воздействие СА должно быть рассмотрено совместно с земными факторами изменения климата.

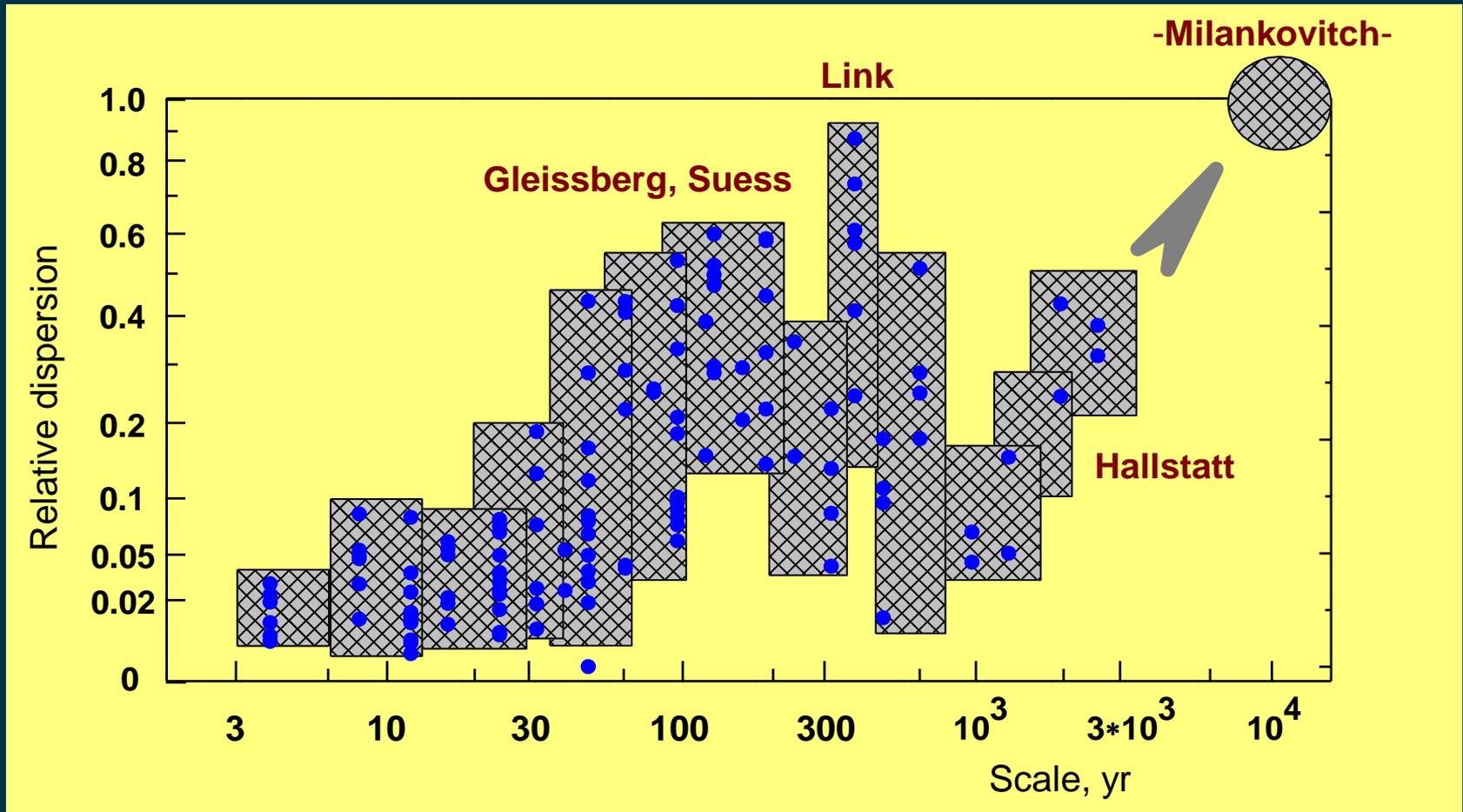
Солнечная активность на 1000-летней временной шкале: существенность вариаций



Солнечная активность на ~ 3000 -летней временной шкале: существенность вариаций



Солнечная активность на 10000-летней временной шкале: существенность вариаций



Результаты и выводы

Солнечная активность влияет на климат, (в среднем вклад СА = 17 ± 5 %) причем дифференциально в зависимости от временных шкал:

0-25 лет – вклад СА $\sim 3-5$ %

25-100 лет – вклад СА $< 17 \pm 5$ %

100-200 лет – вклад СА $\sim 30-40$ %

350-450 лет – вклад СА $\sim 50-70$ %

1000-1500 лет снижение – 5-10 %

2500 лет и больше -- ~ 50 %



Для построения адекватной климатической модели на шкалах порядка десятков – сотен – тысячи лет **необходимо учитывать влияние солнечной активности.**

Спасибо за внимание!

