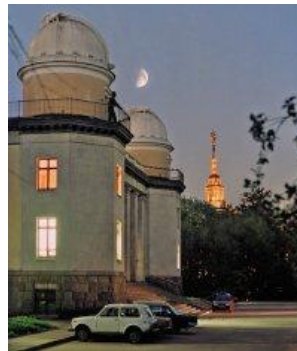


О возможной взаимосвязи изменений климата и вращения Земли

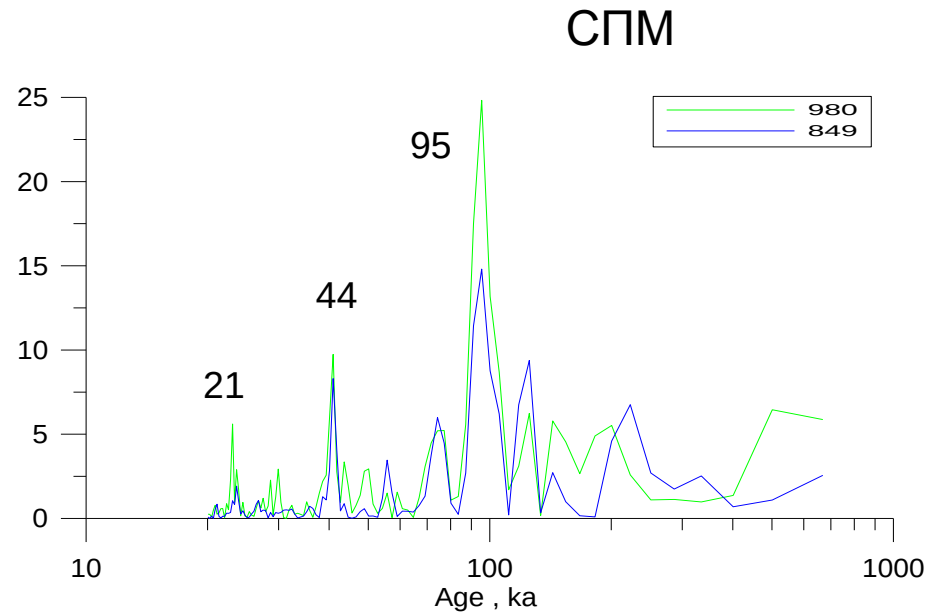
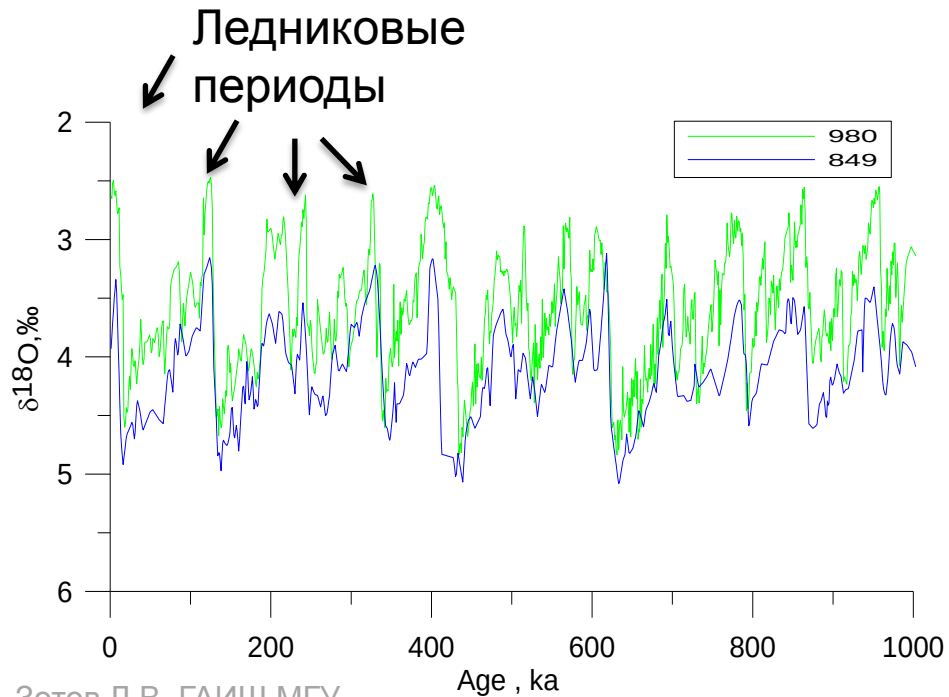
Леонид Зотов

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
МГУ им. М.В. Ломоносова

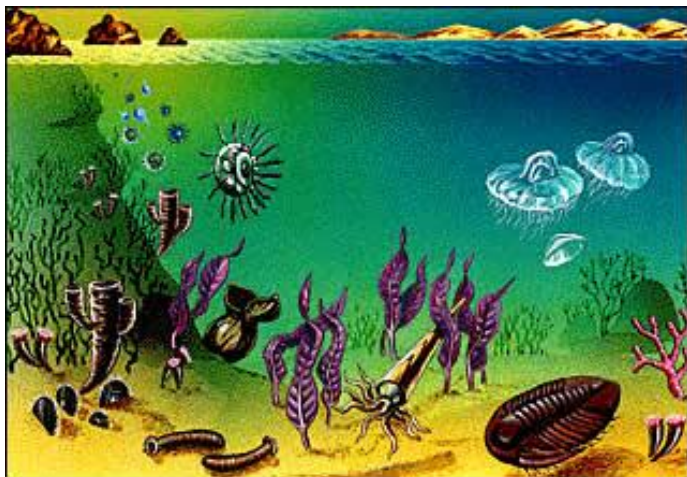


Доклад на Географическом обществе 17 февраля 2014 г.

Палеоклимат

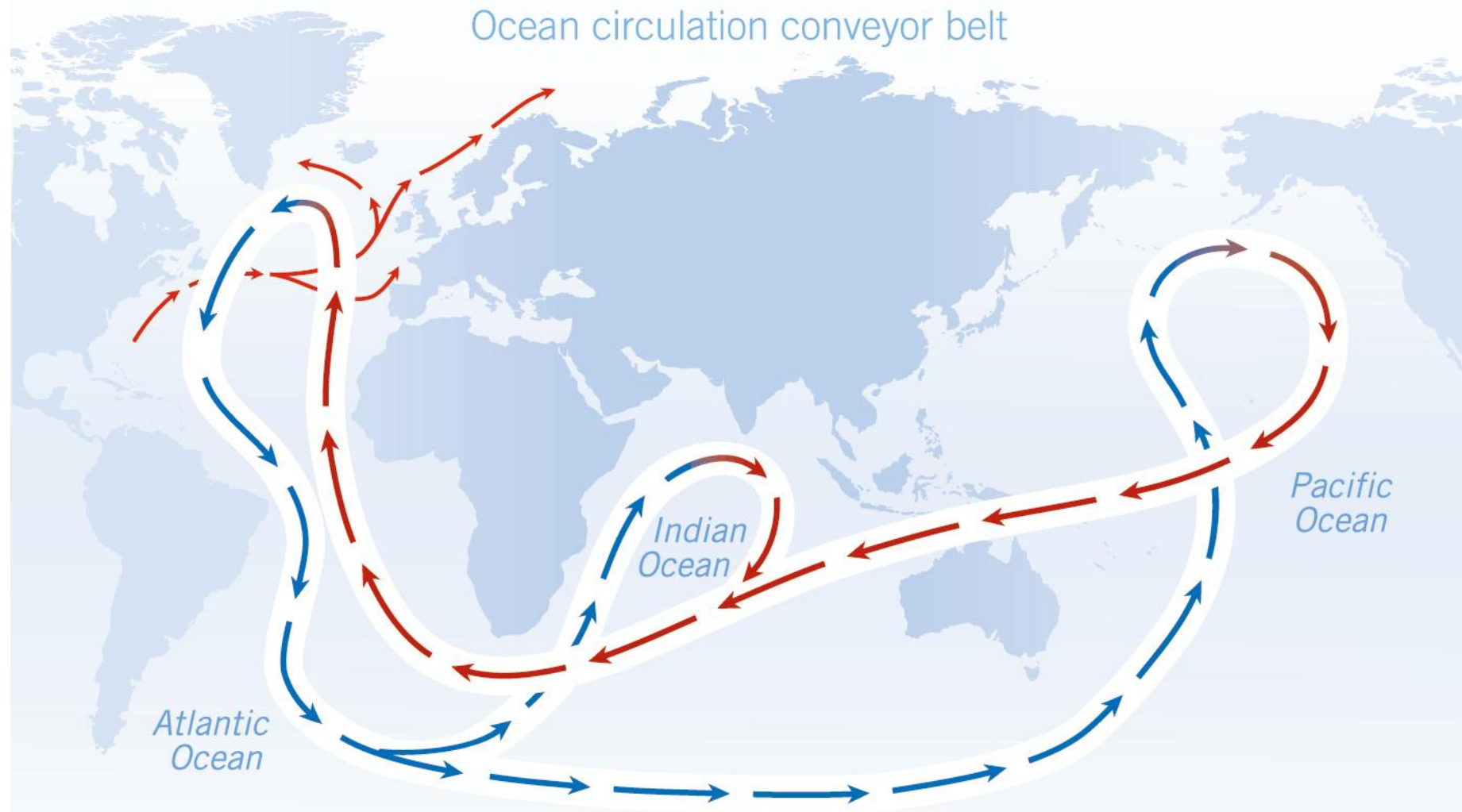


Зотов Л.В. ГАИШ МГУ



Течения в океане

Ocean circulation conveyor belt



→ COLD AND SALTY DEEP CURRENT
→ WARM SHALLOW CURRENT

→ GULF STREAM

Теория Миланковича

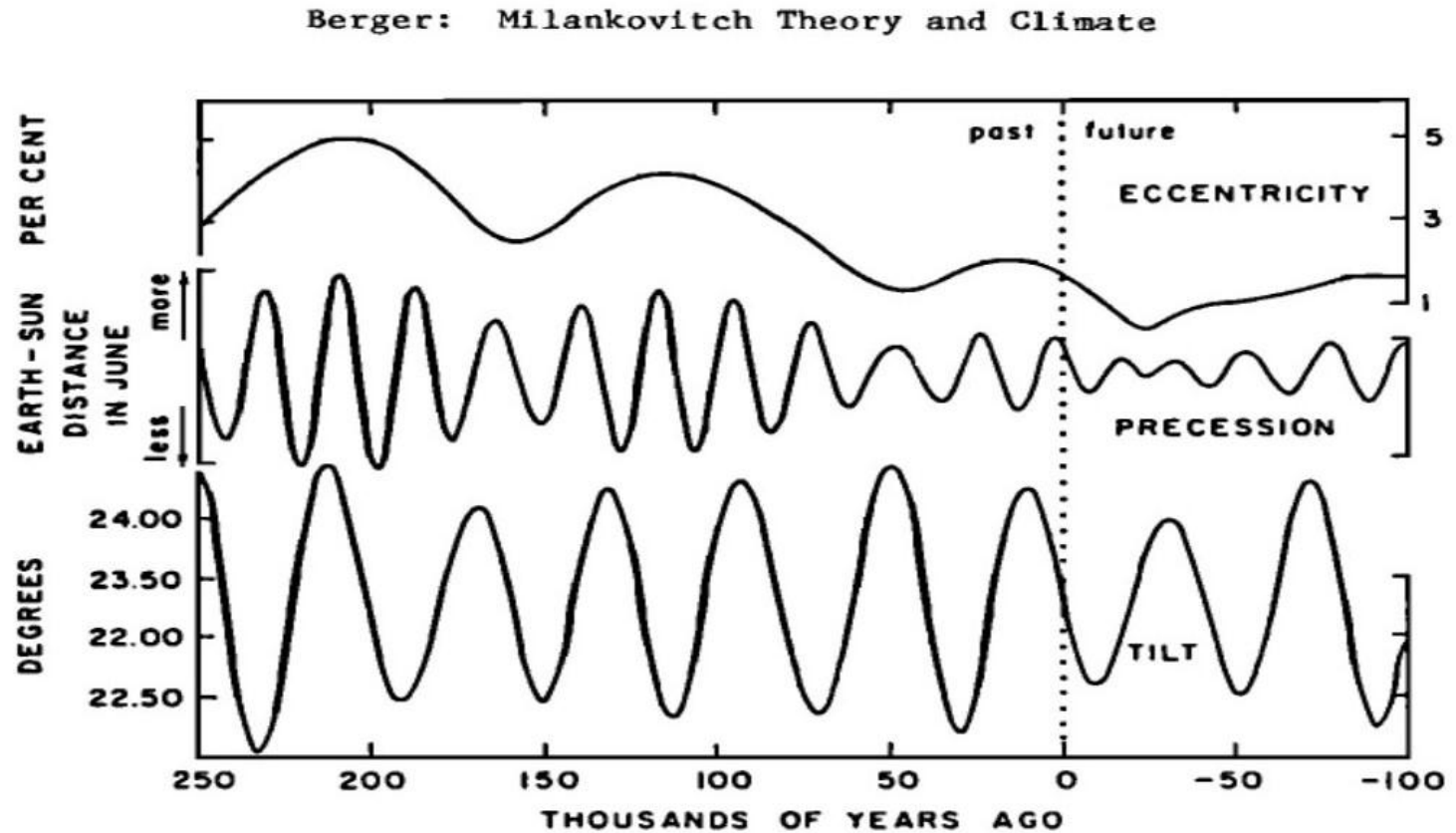
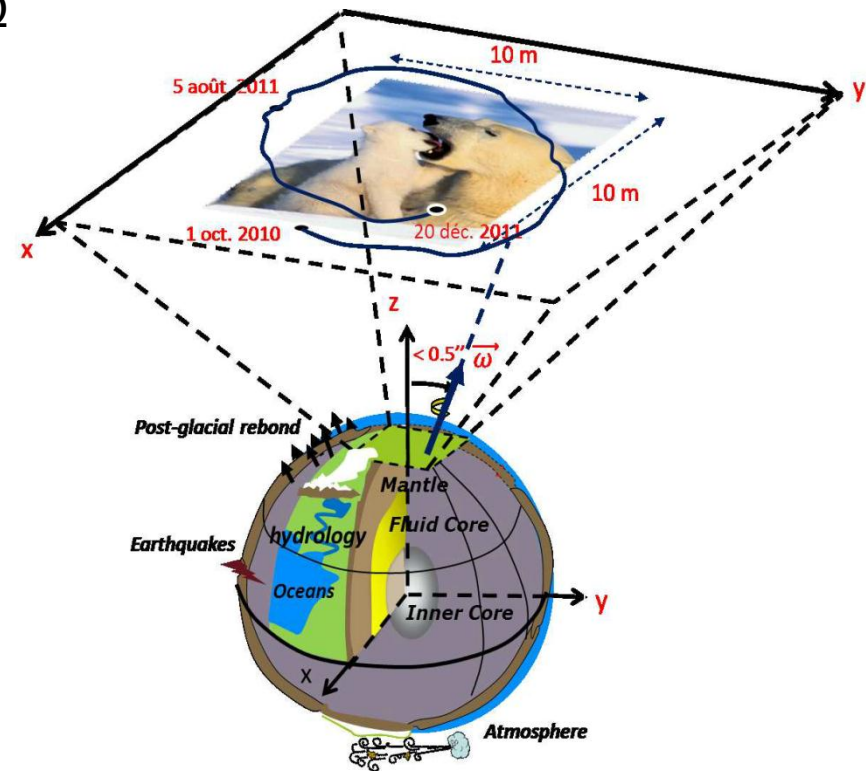
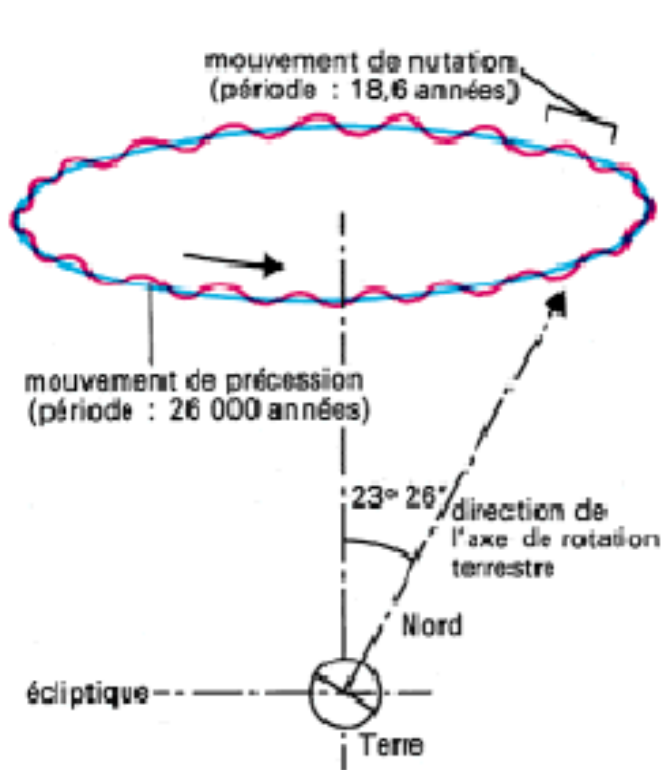
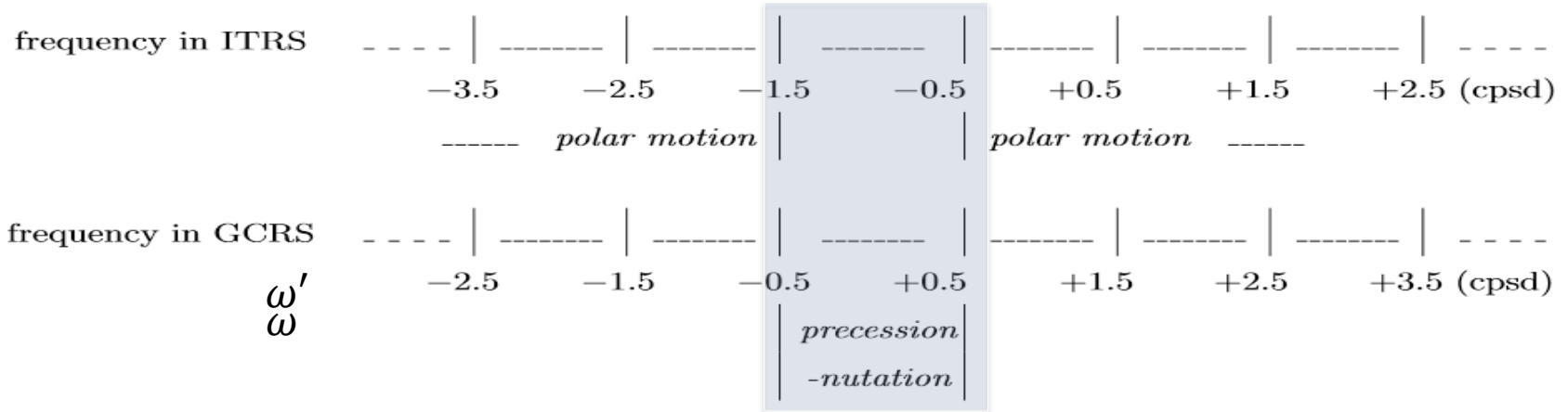


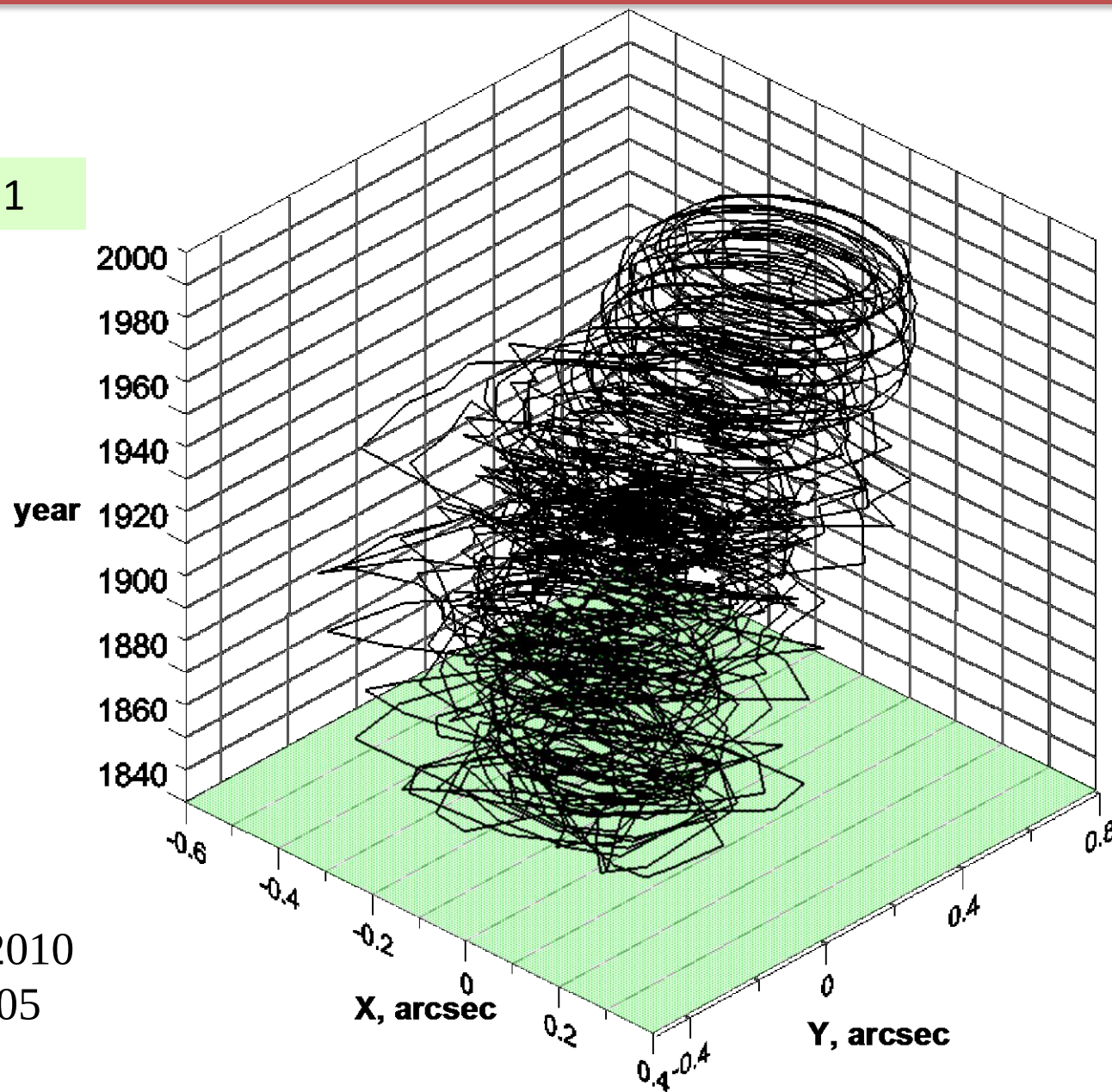
Fig. 11. Long-term variations of eccentricity, precession, and tilt from 250,000 years B.P. to 100,000 years A.P. [Berger, 1978c].

Прецессия и движение полюса



Движение полюса Земли

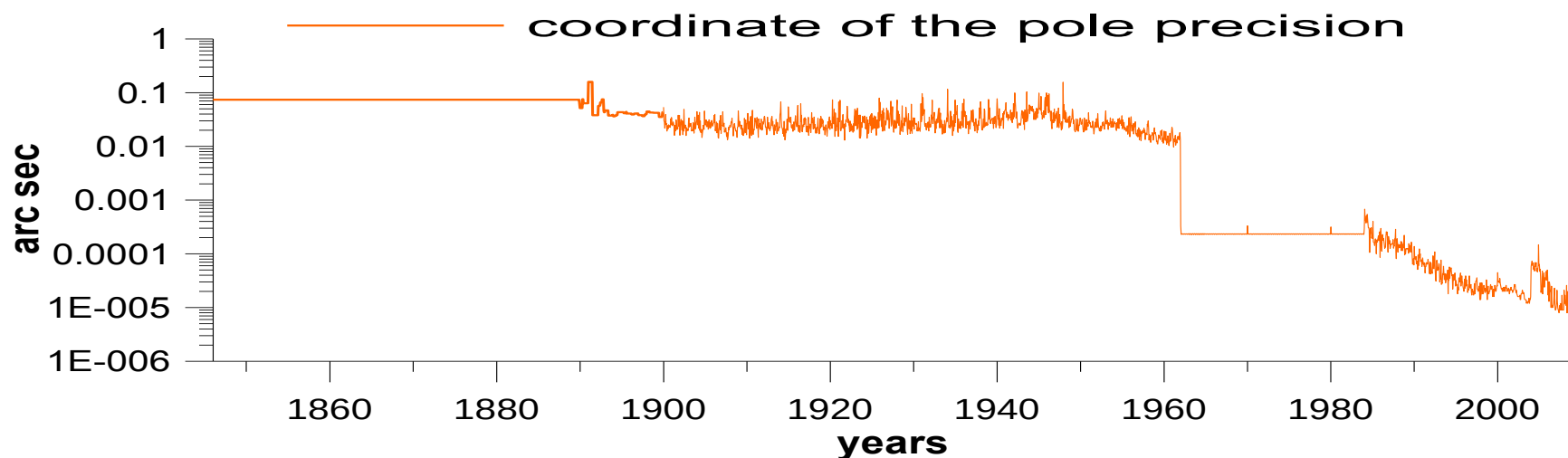
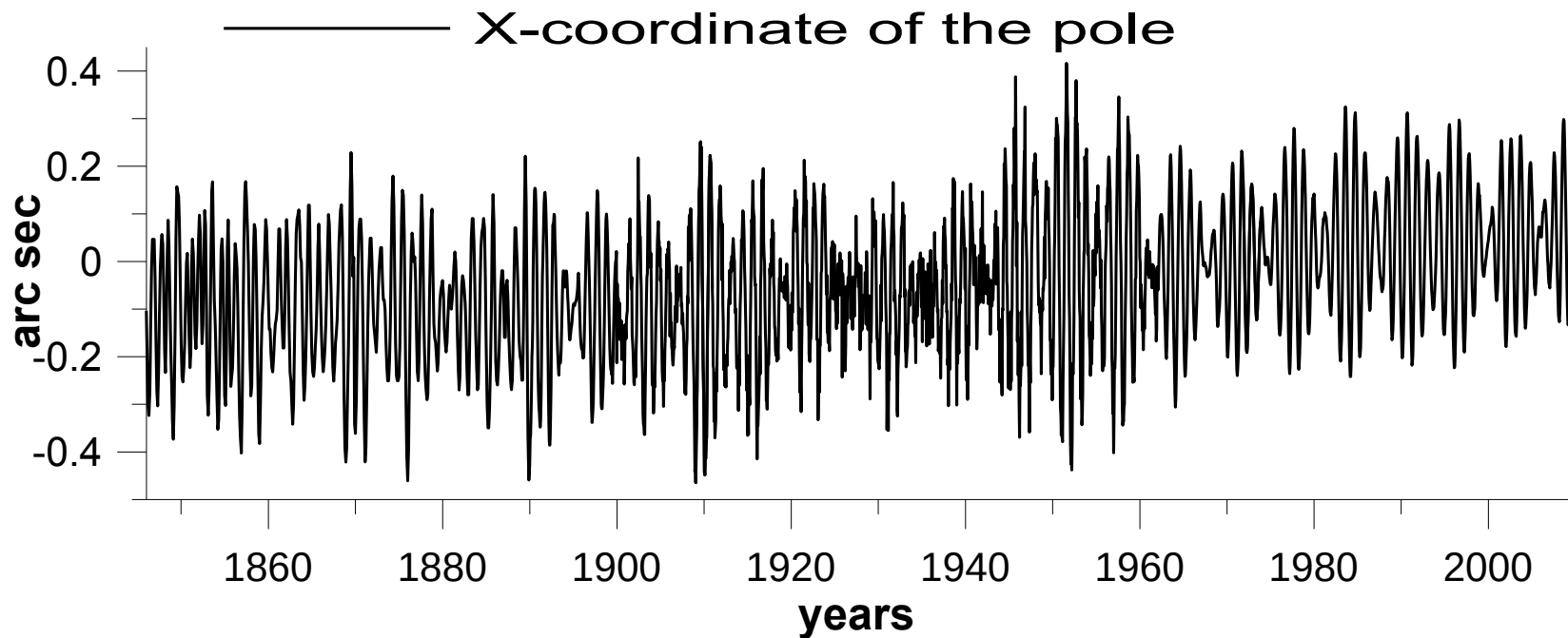
EOP CO1



2D
траектория
 $m(t) = x - iy$

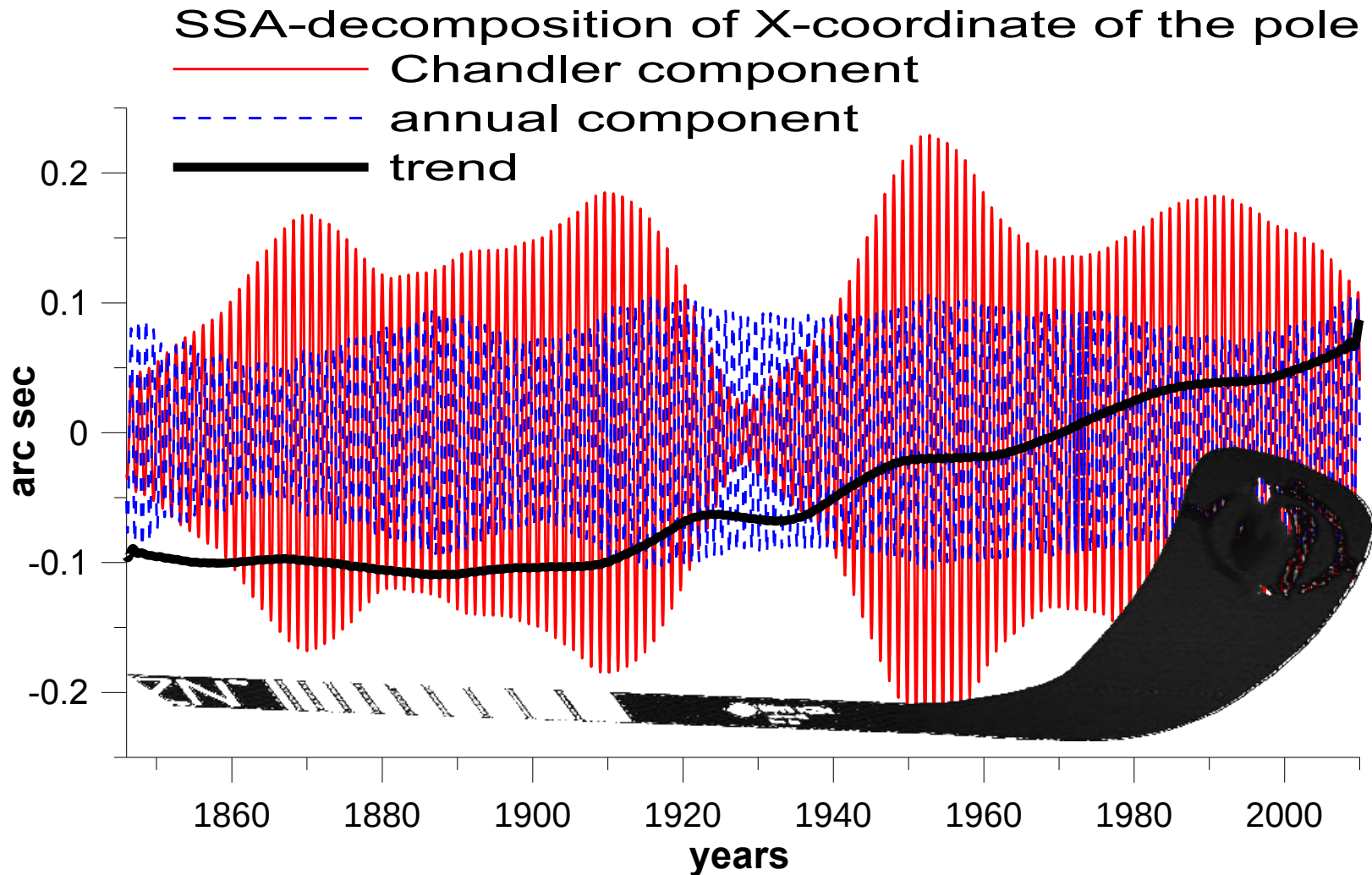
1846-2010
шаг 0.05
года

Движение полюса: X – координата и точность



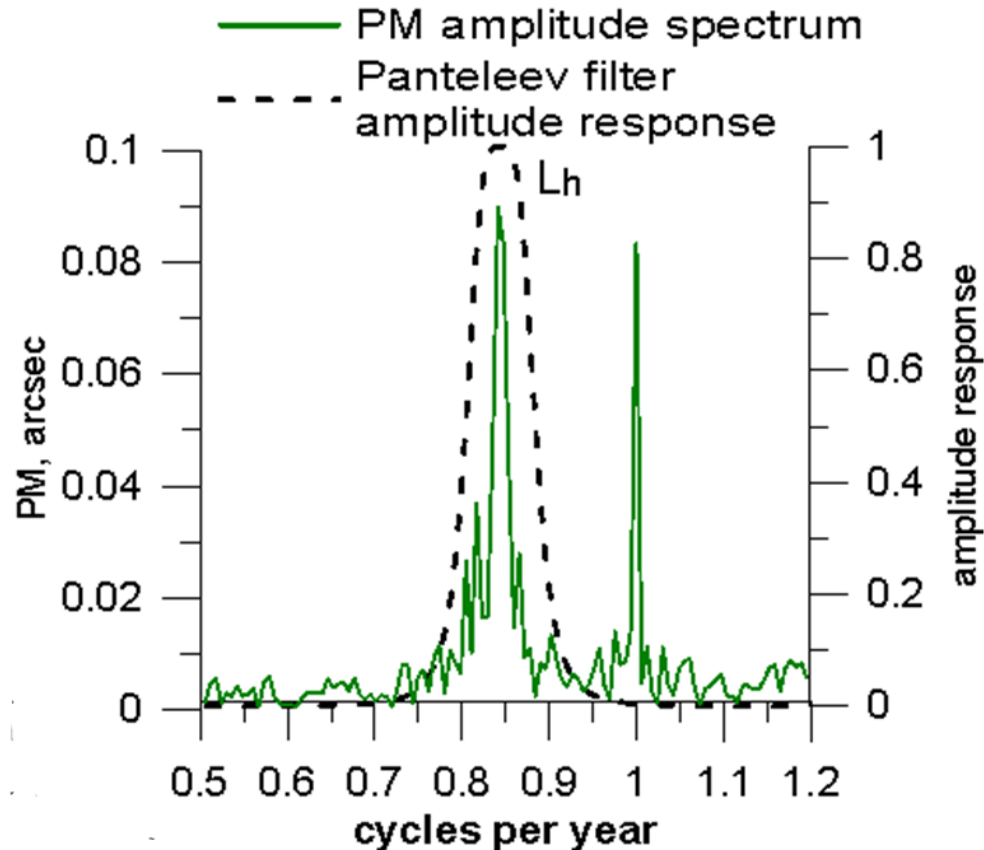
Сингулярный Спектральный Анализ

движения полюса



Спектр движения полюса и фильтр Пантелеева

Фильтрация
во временной
области –
свертка



Фильтрация в
спектральной
области –
умножение
спектров

$$h(t) = \frac{\omega_0}{2\sqrt{2}} e^{-\left(\frac{\omega_0|t|}{\sqrt{2}} - i2\pi f_c t\right)} \left(\cos \frac{\omega_0 t}{\sqrt{2}} + \sin \frac{\omega_0 |t|}{\sqrt{2}} \right) \quad \omega_0 = 2\pi f_0.$$

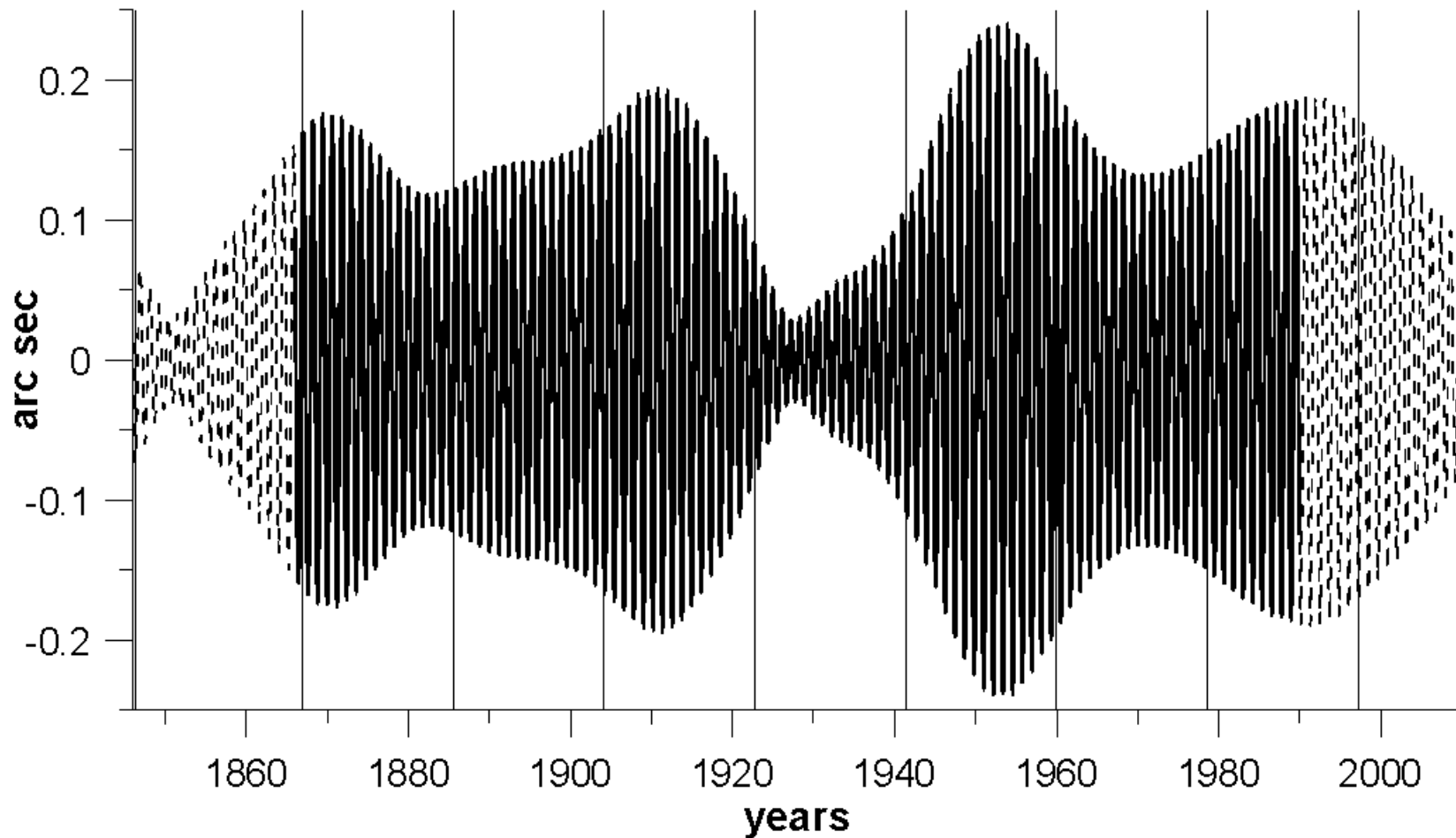
$$L_h(f) = \frac{f_0^4}{(f - f_c)^4 + f_0^4} \quad f_0 = 0.04 \text{ yr}^{-1}.$$

Чандлеровское колебание и его возбуждение



S. C. Chandler

Chandler PM component



Динамическая модель вращения Земли

$$\frac{i}{\sigma_c} \frac{dm(t)}{dt} + m(t) = \phi(t)$$

$$m = m_1 + im_2$$

$$\phi = \phi_{mass} + \phi_{motion}$$

$$\sigma_c = 2\pi f_c (1 + i/2Q)$$

$$f_c = \frac{1}{433} \text{ days}^{-1} \quad Q = 175$$

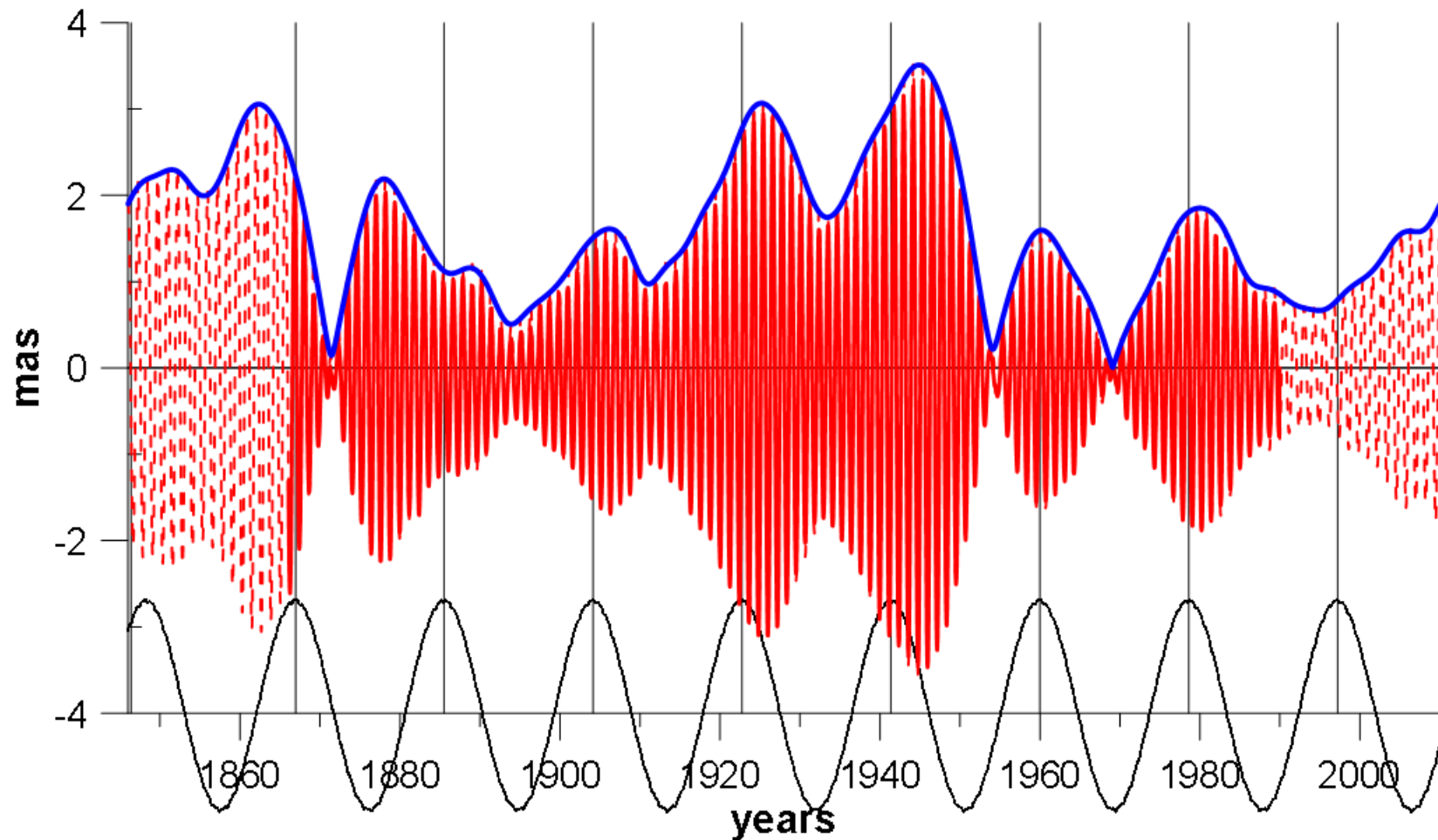
Munk W.H., MacDonald G.J.F., The rotation of the Earth, 1960



Чандлеровское колебание и его возбуждение

S. C. Chandler

reconstructed Chandler excitation



Черным внизу показана 18.6-летняя компонента прилива для LOD

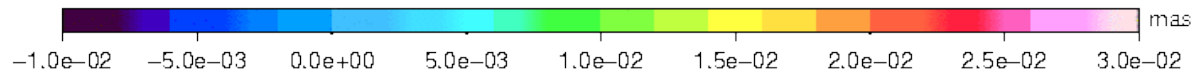
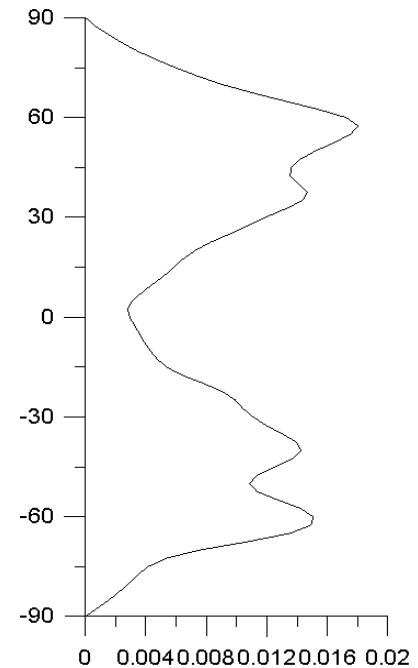
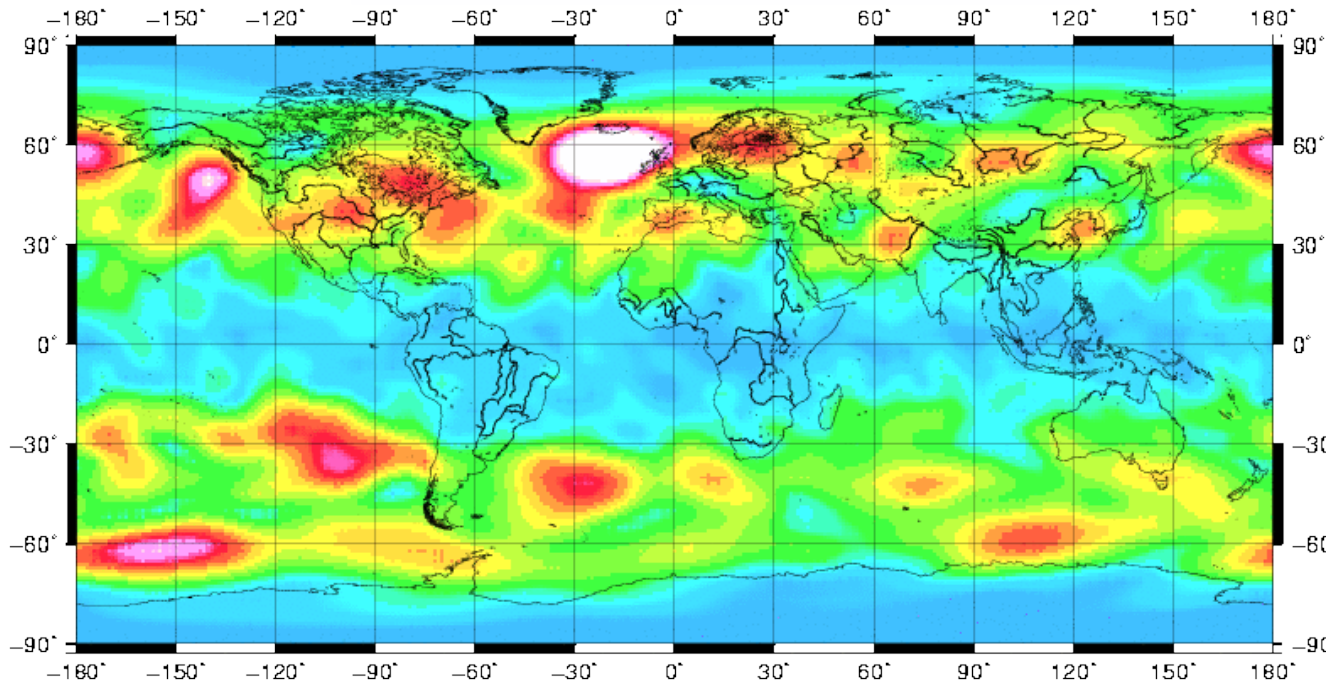
ААМ ветра в Чандлеровском диапазоне

CHANDLER WIND $\langle |m| \rangle$

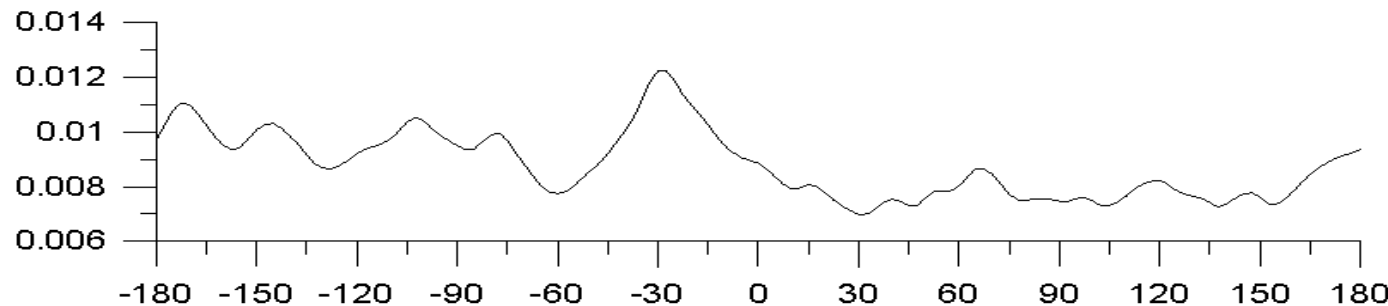
chand absmean

1968-1991

$|m| = \langle |m| \rangle + \Delta|m|$



processed by L. Zotov



**Атмосферный
Угловой
Момент ААМ
из реанализа
NCER/NCAR**

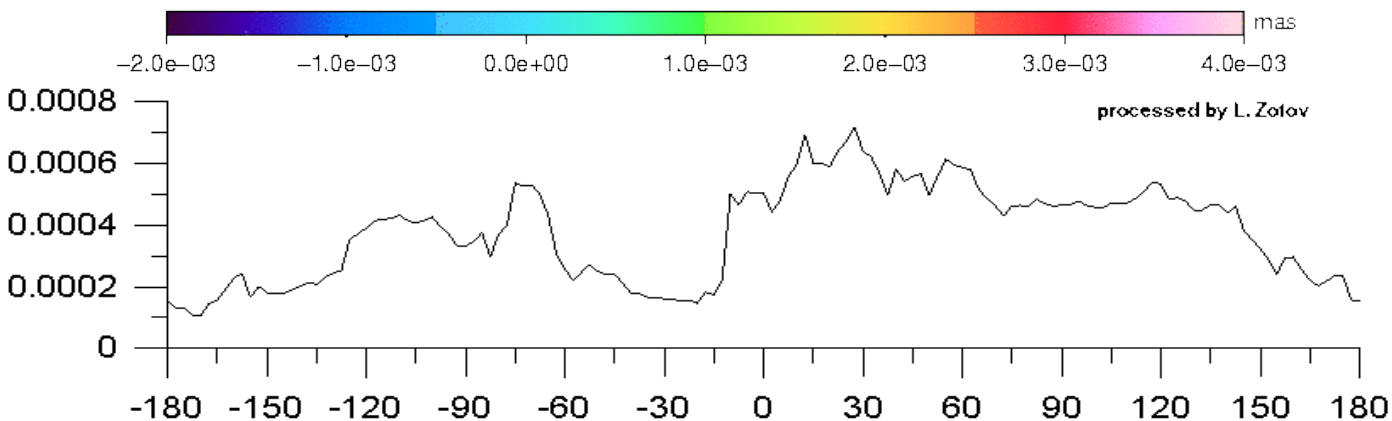
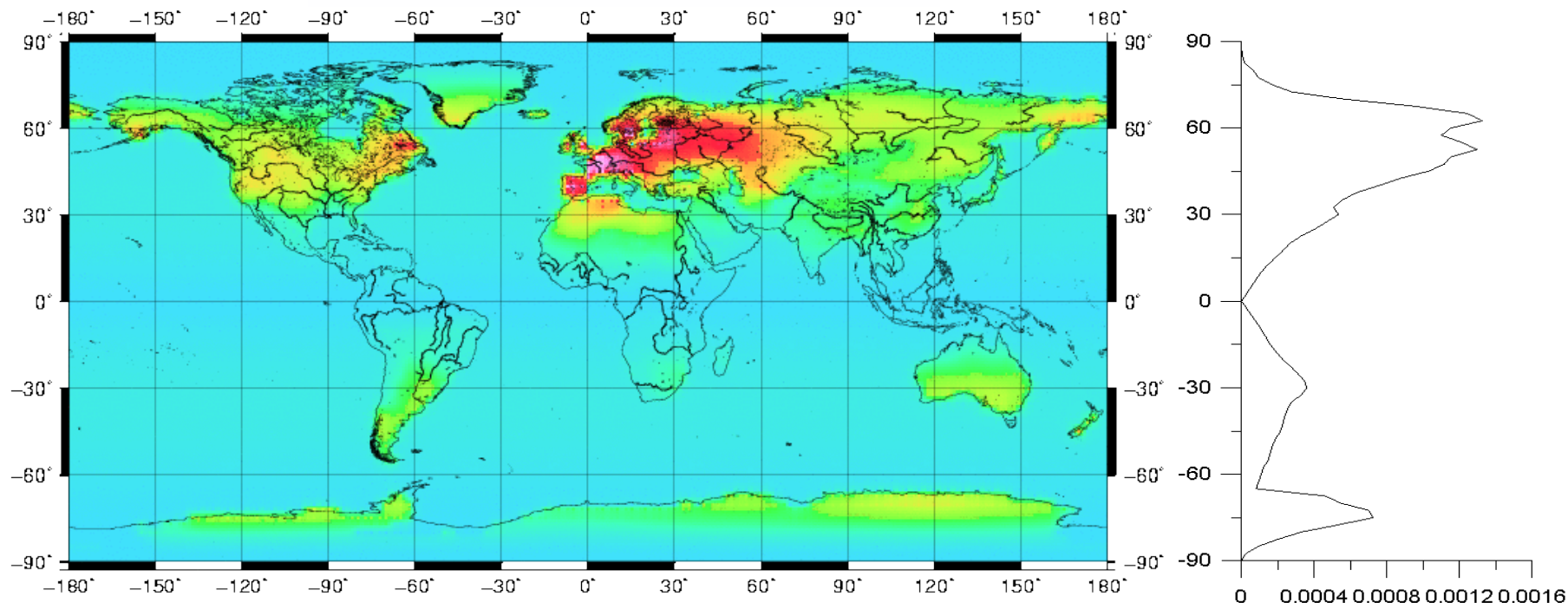
ААМ давления в Чандлеровском диапазоне

CHANDLER PRESSURE $\langle |m| \rangle$

chand absmean

1968-1991

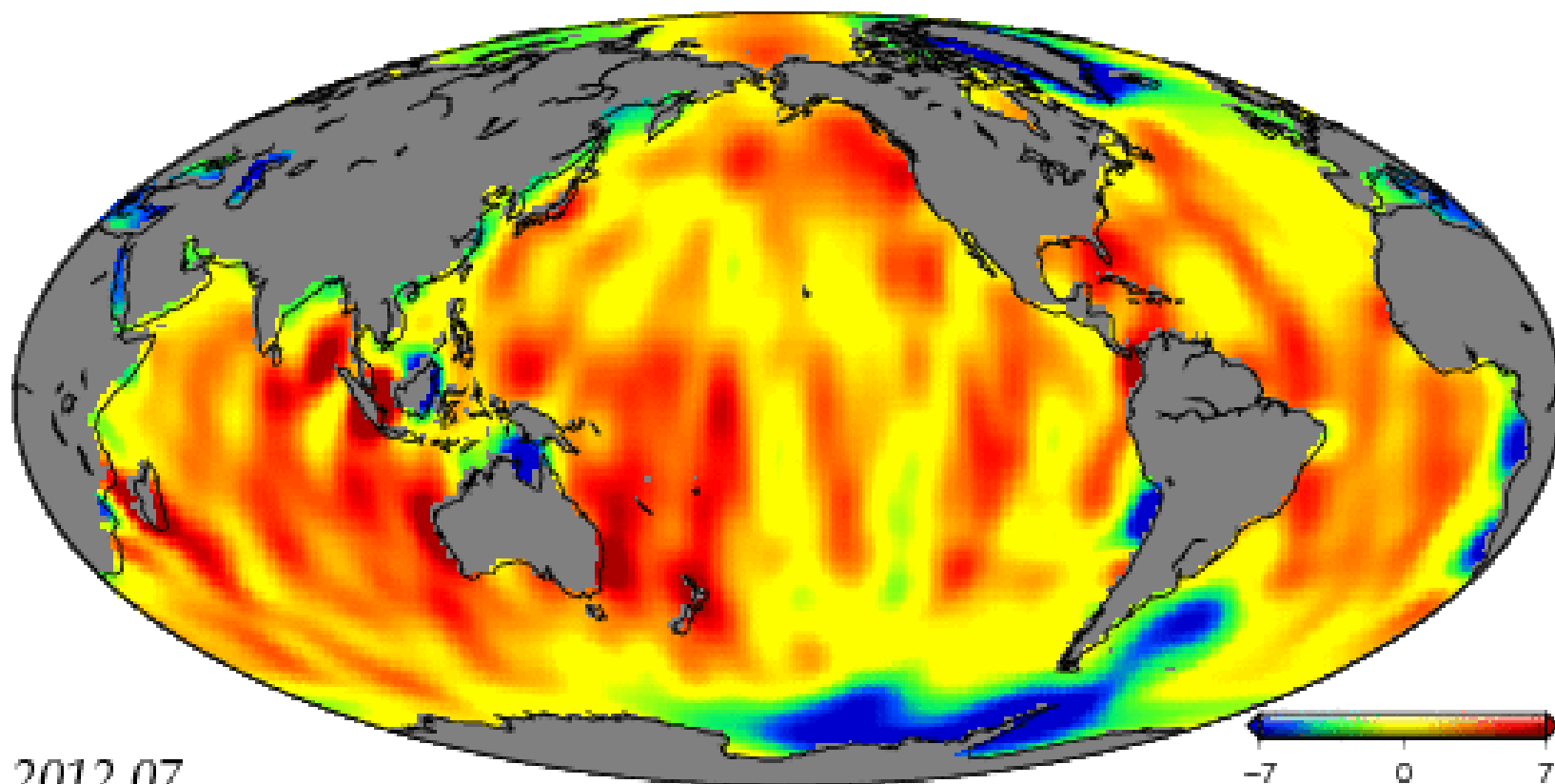
$|m| = \langle |m| \rangle + \Delta|m|$



**Атмосферный
Угловой
Момент ААМ
из реанализа
NCER/NCAR**

Изменения придонного давления связаны с изменениями массы

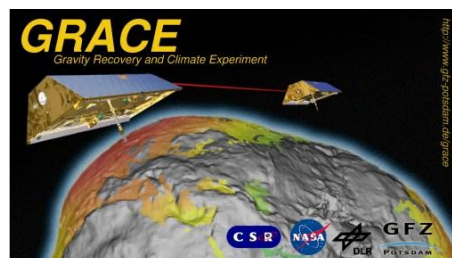
- с таянием ледников суши,
нестерическими изменениями уровня моря



2012 07

-7 0 7

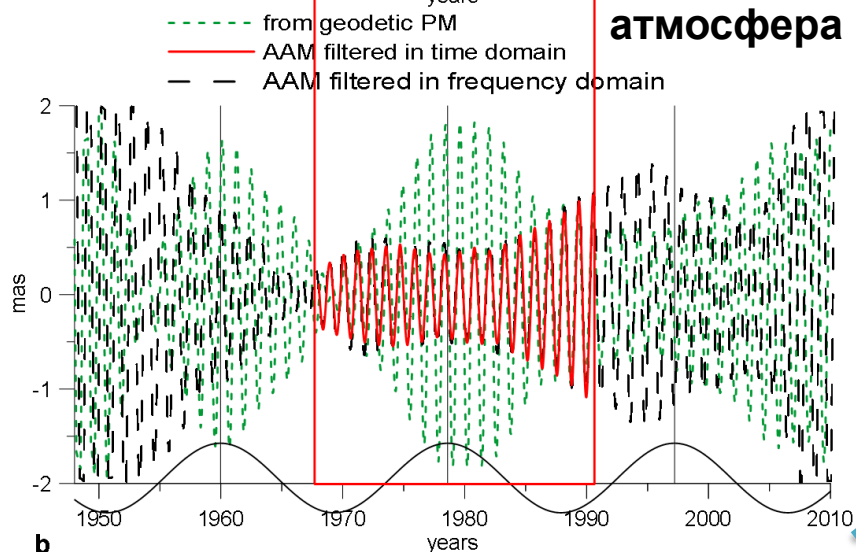
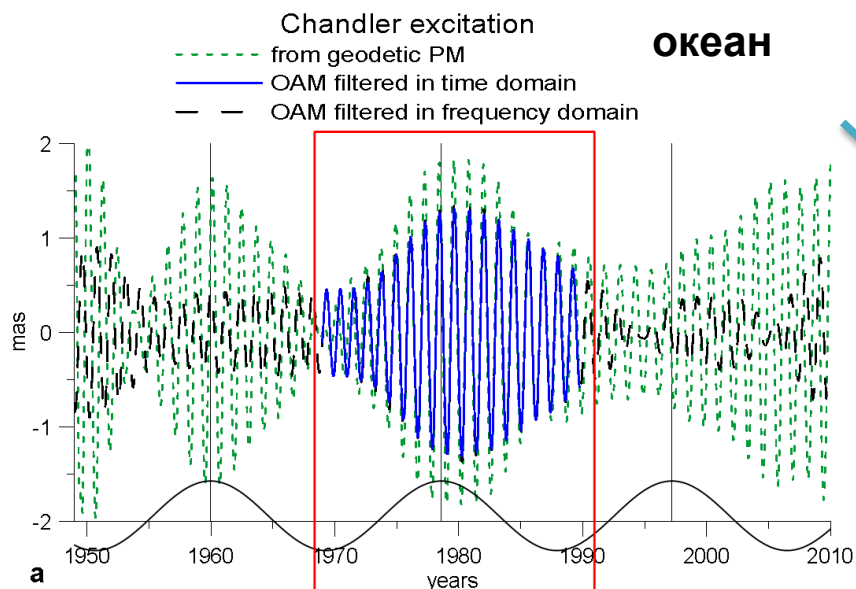
CM eqH₂O



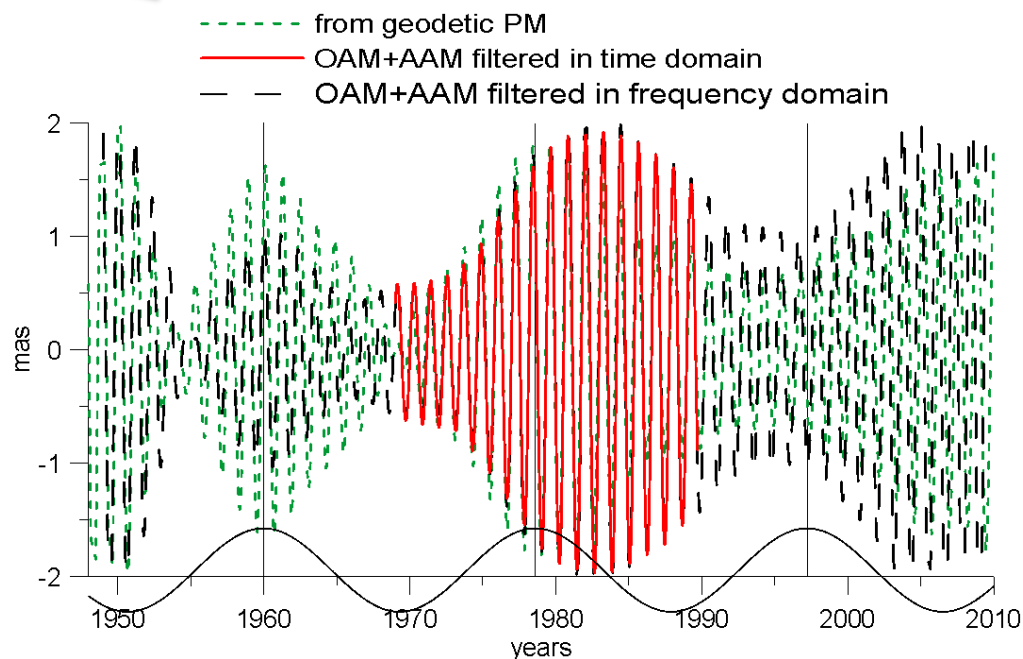
По данным спутников GRACE

Зотов Л.В. ГАИШ МГУ

Гидро-атмосферное возбуждение



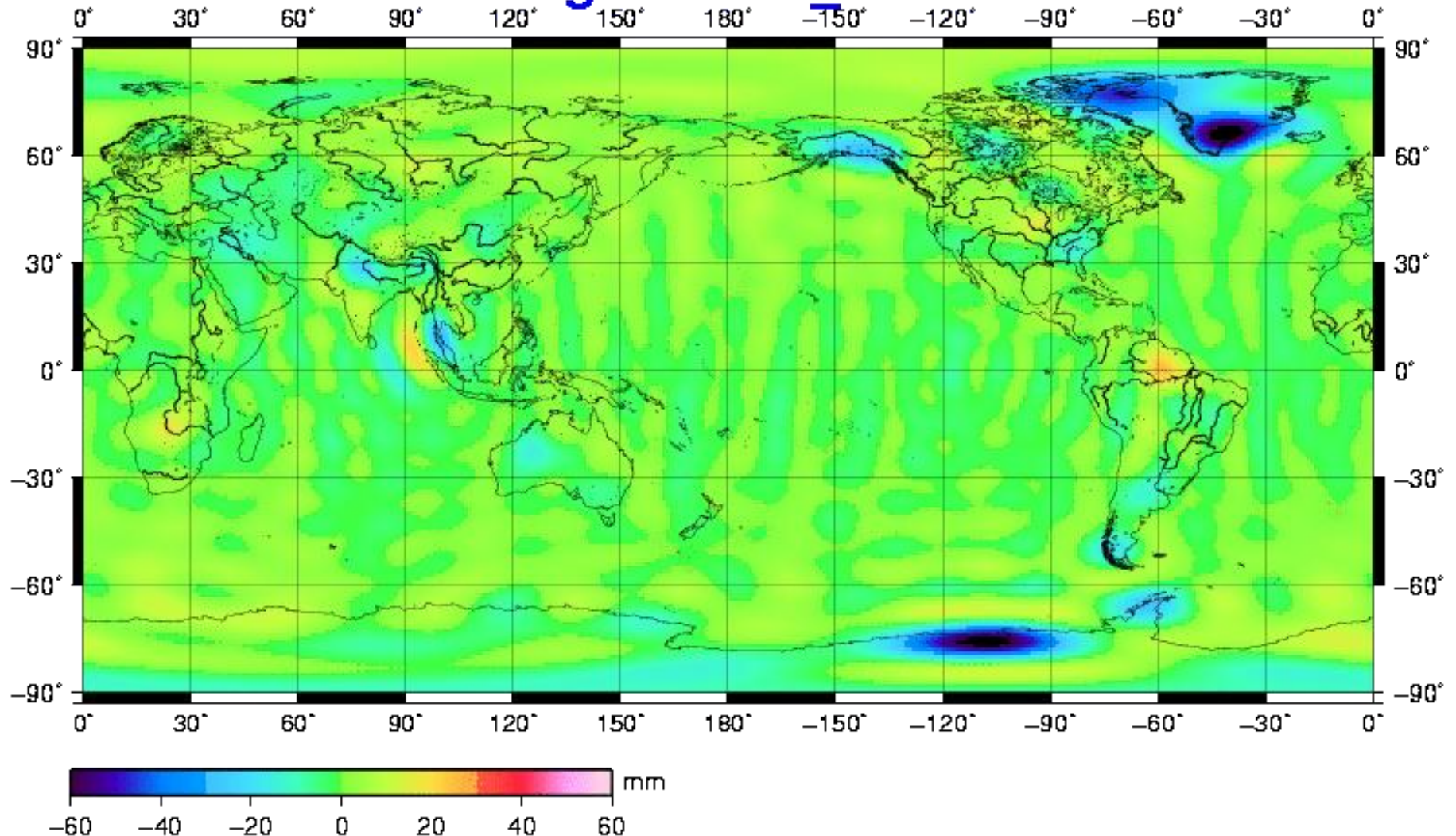
**Угловой момент океана OAM по модели ECCO +
 Атмосферный Угловой Момент AAM из
 реанализа NCEP/NCAR**



L. Zotov, C. Bizouard, On modulations of the Chandler wobble excitation, Journal of Geodynamics, special issue "Earth Rotation"

Вековые изменения грав. поля за 7 лет по данным GRACE

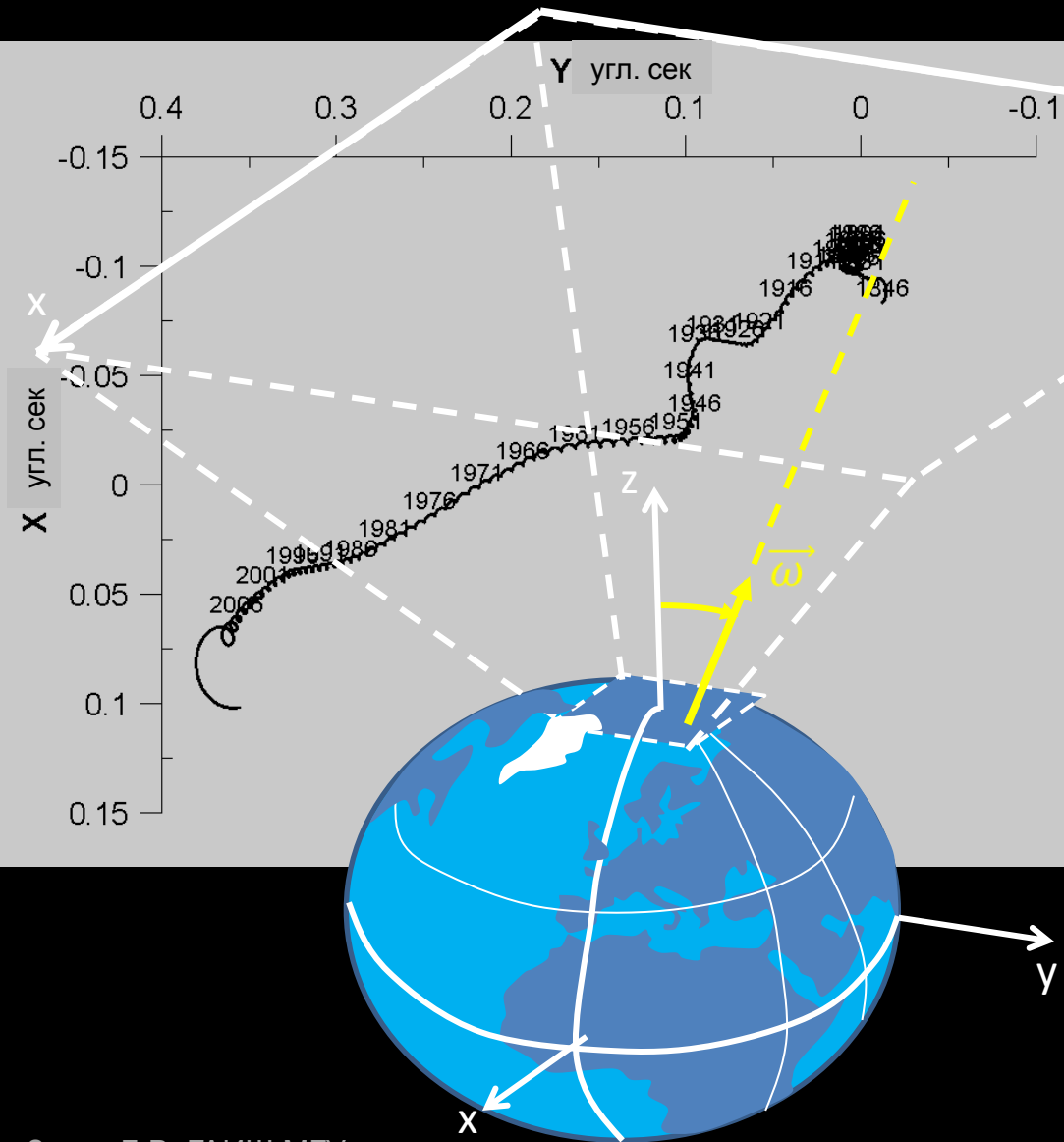
change 3.2003_12.2010



MSSA with L=36 months

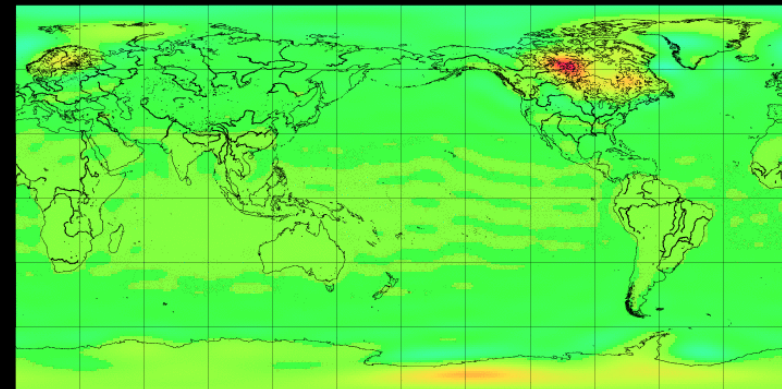
Тренд движения полюса

$3 \text{ cm} \Leftrightarrow 0.001'' = 1 \text{ milli-arc-second} = 1 \text{ mas}$

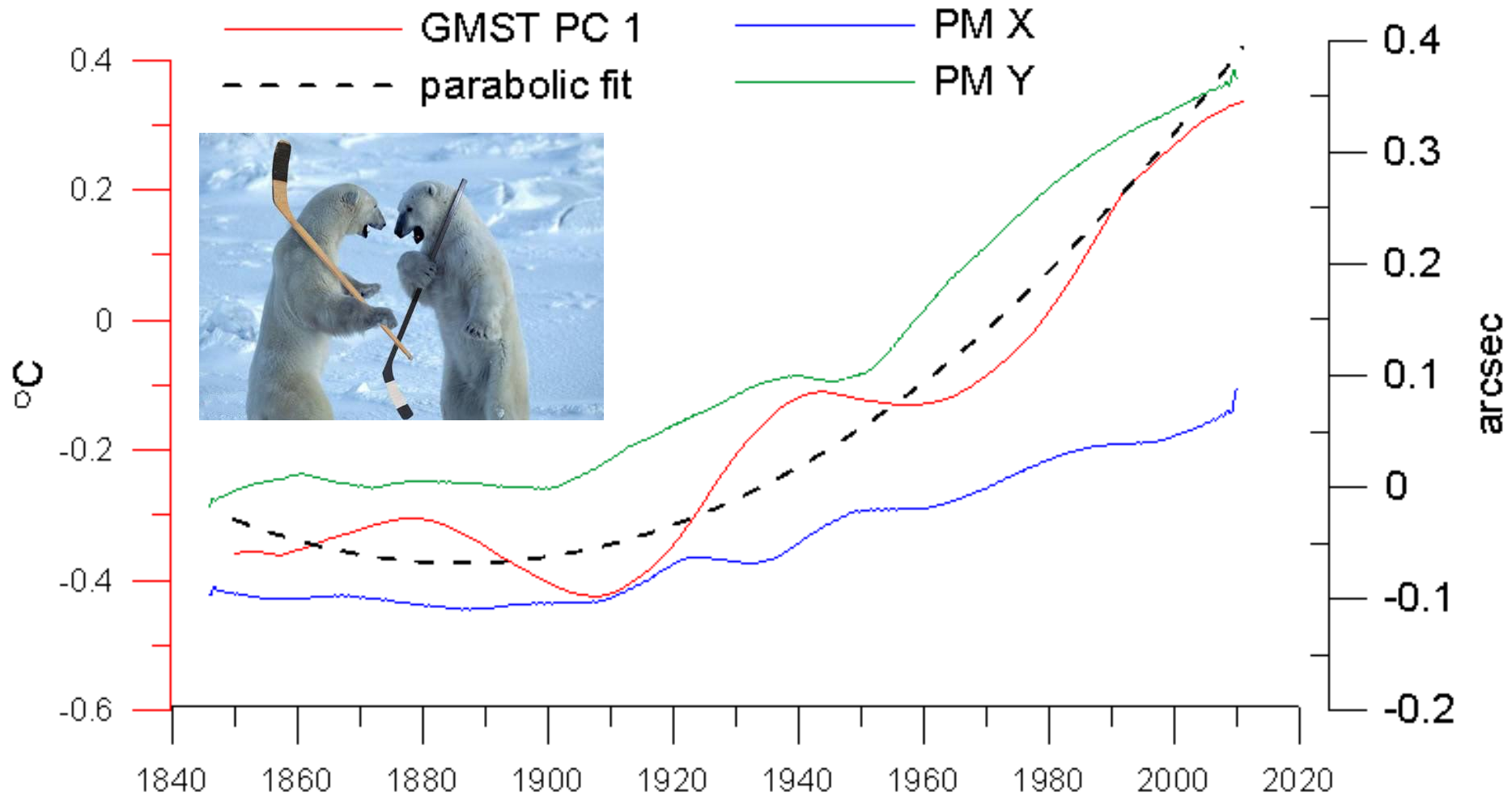


Послеледниковое поднятие
(Paulson et al. 2007)

GIA 8/0.tx

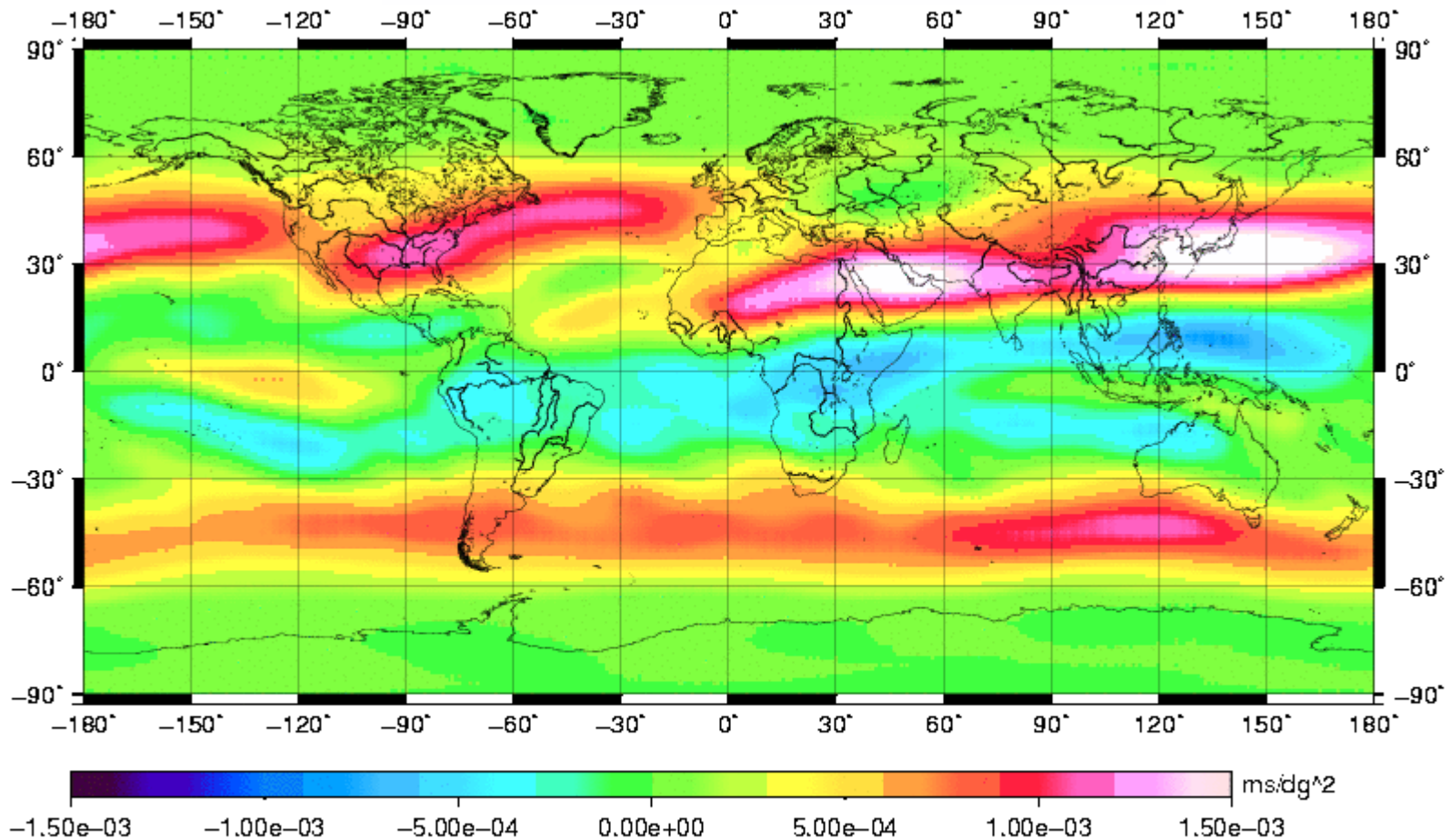


Температура и тренд движения полюса



Зональный перенос углового момента в атмосфере ветровая составляющая

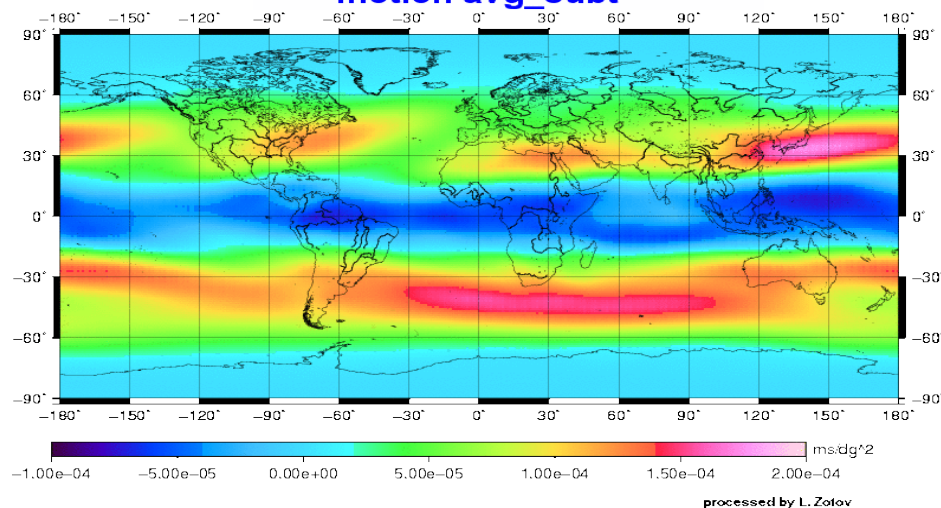
init 2008.014



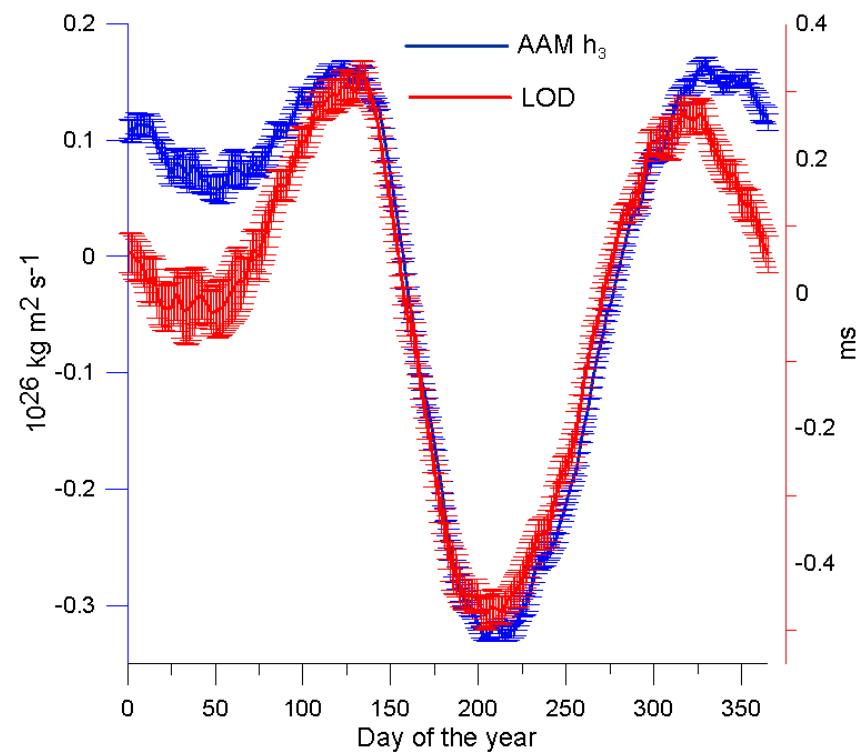
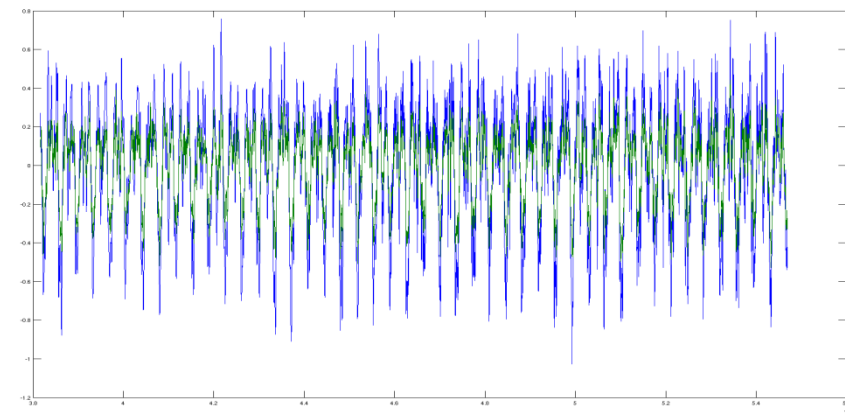
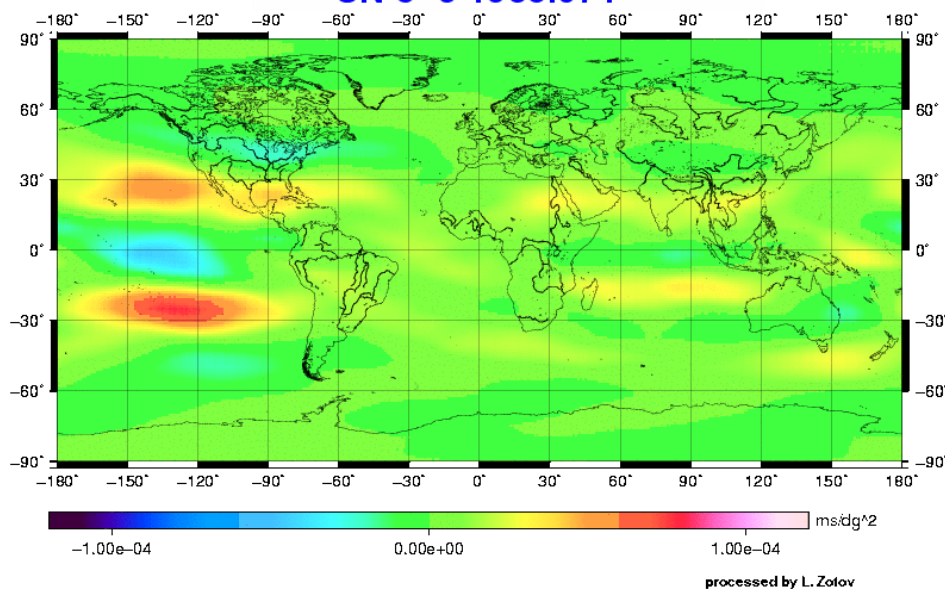
processed by L. Zotov

Атмосферное влияние на LOD на периодах меньше года

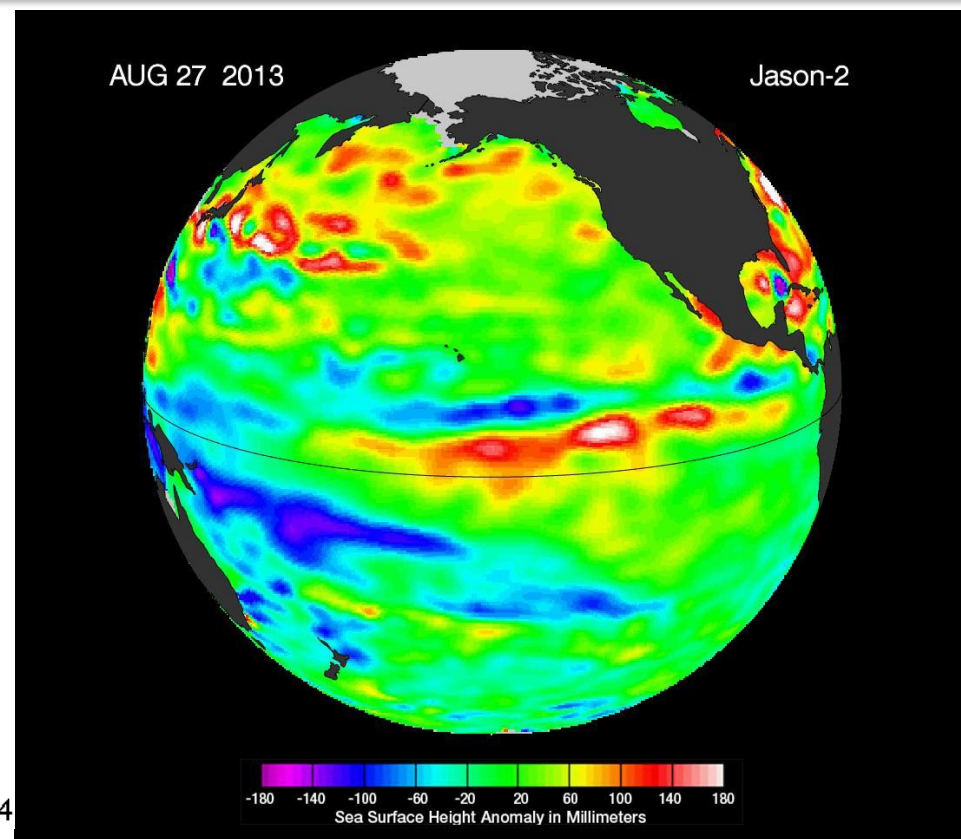
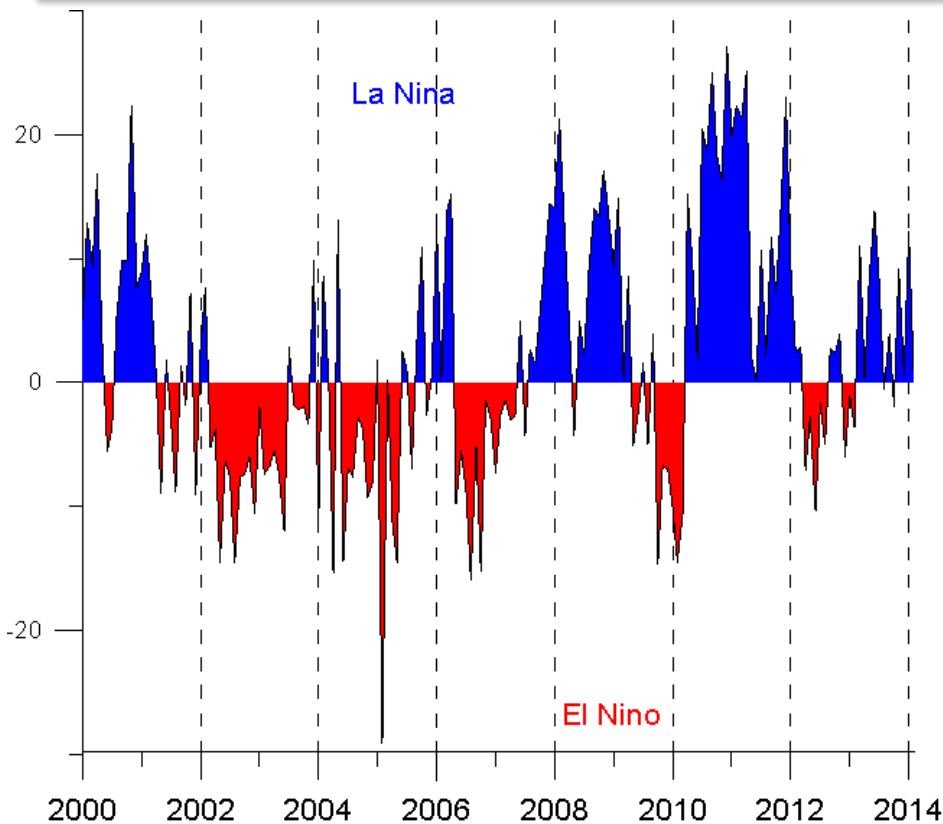
motion avg_subt



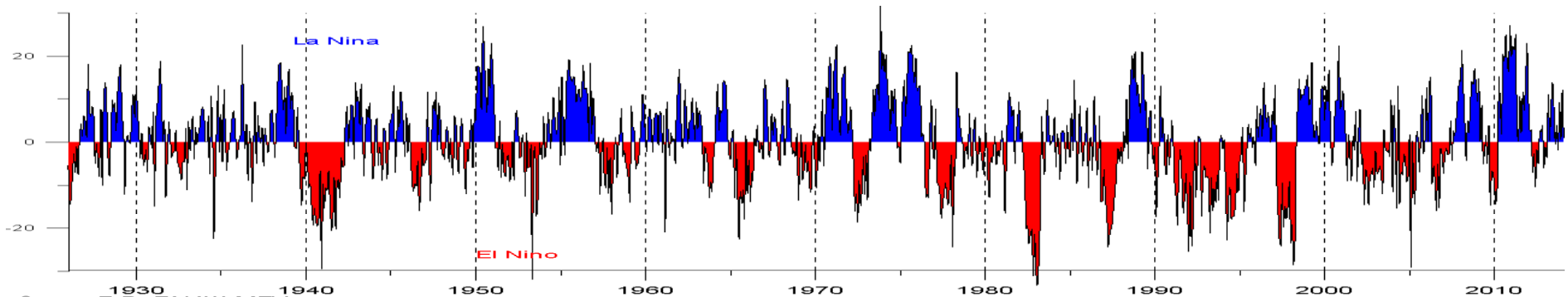
SN 5+6 1983.071



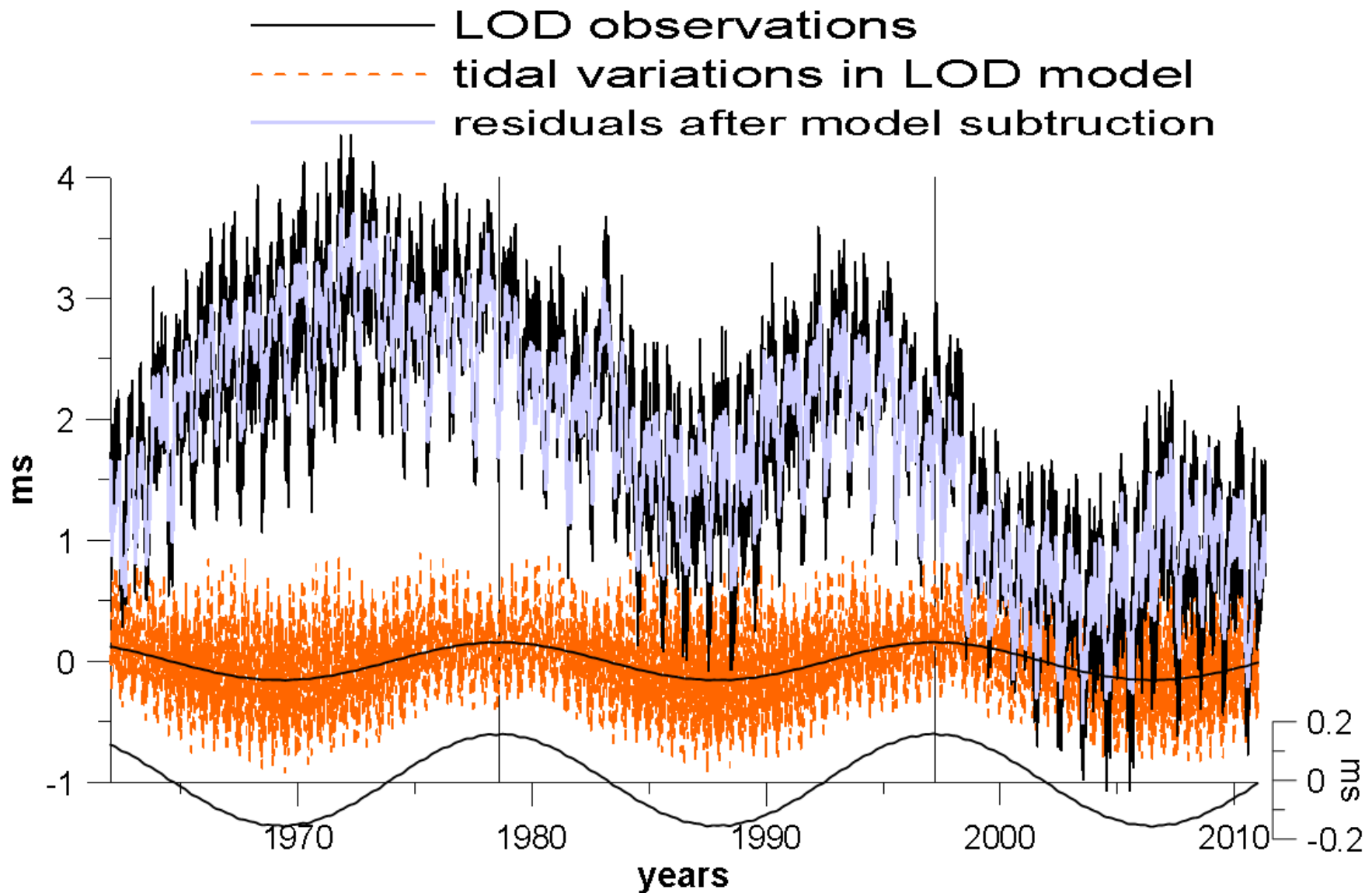
Океаническое влияние на LOD и ENSO



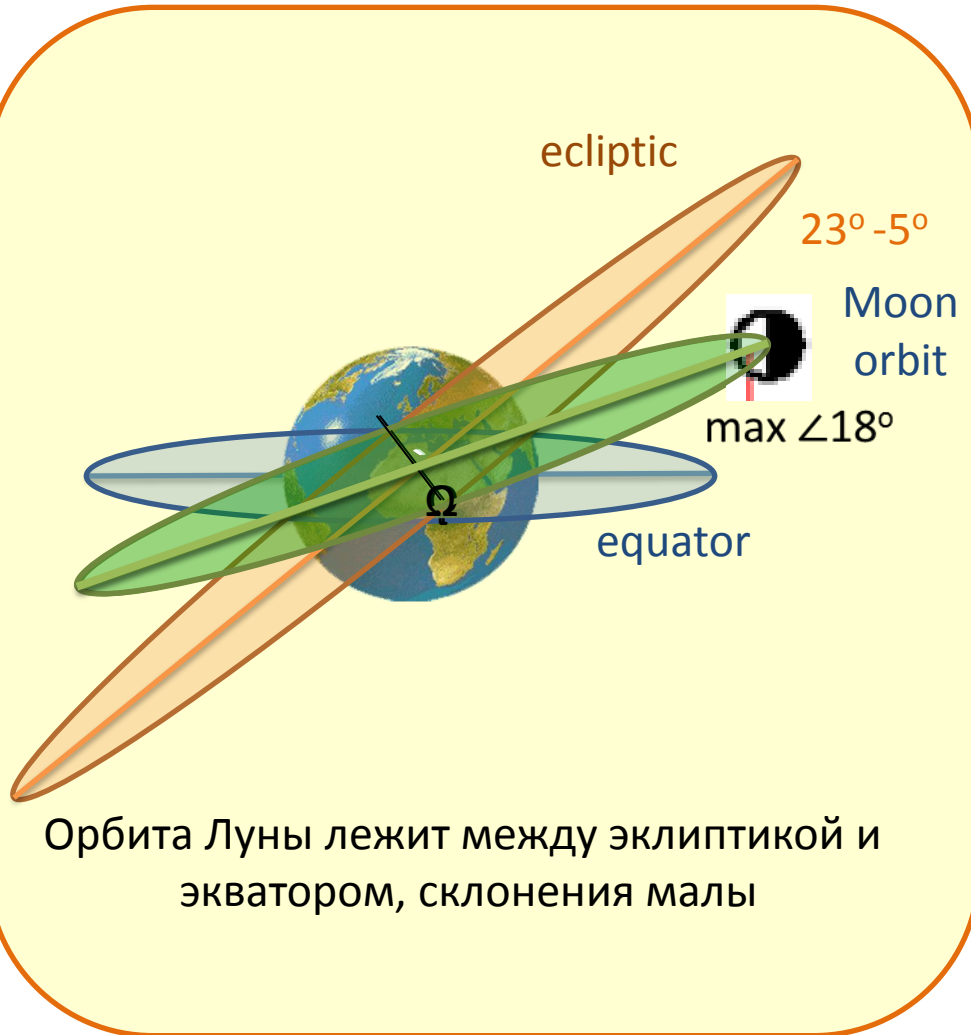
La Nada 2013



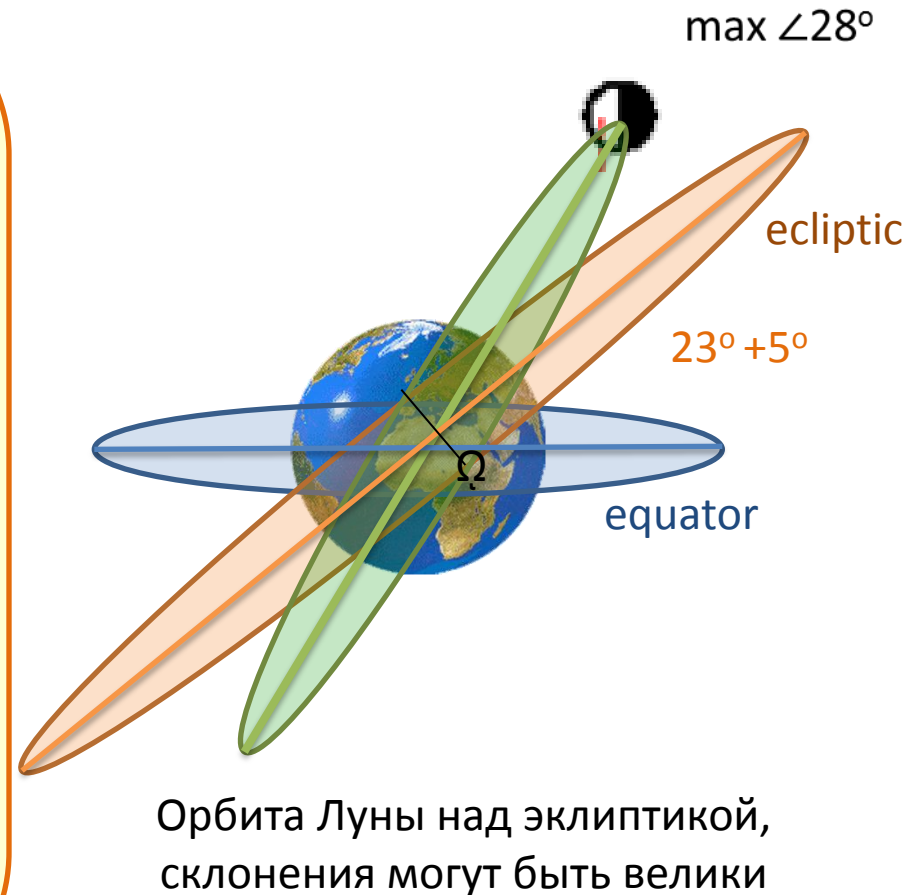
Продолжительность суток (LOD) и зональный прилив



Склонения луны меняются в 18.6 –летнем цикле регрессии узлов орбиты

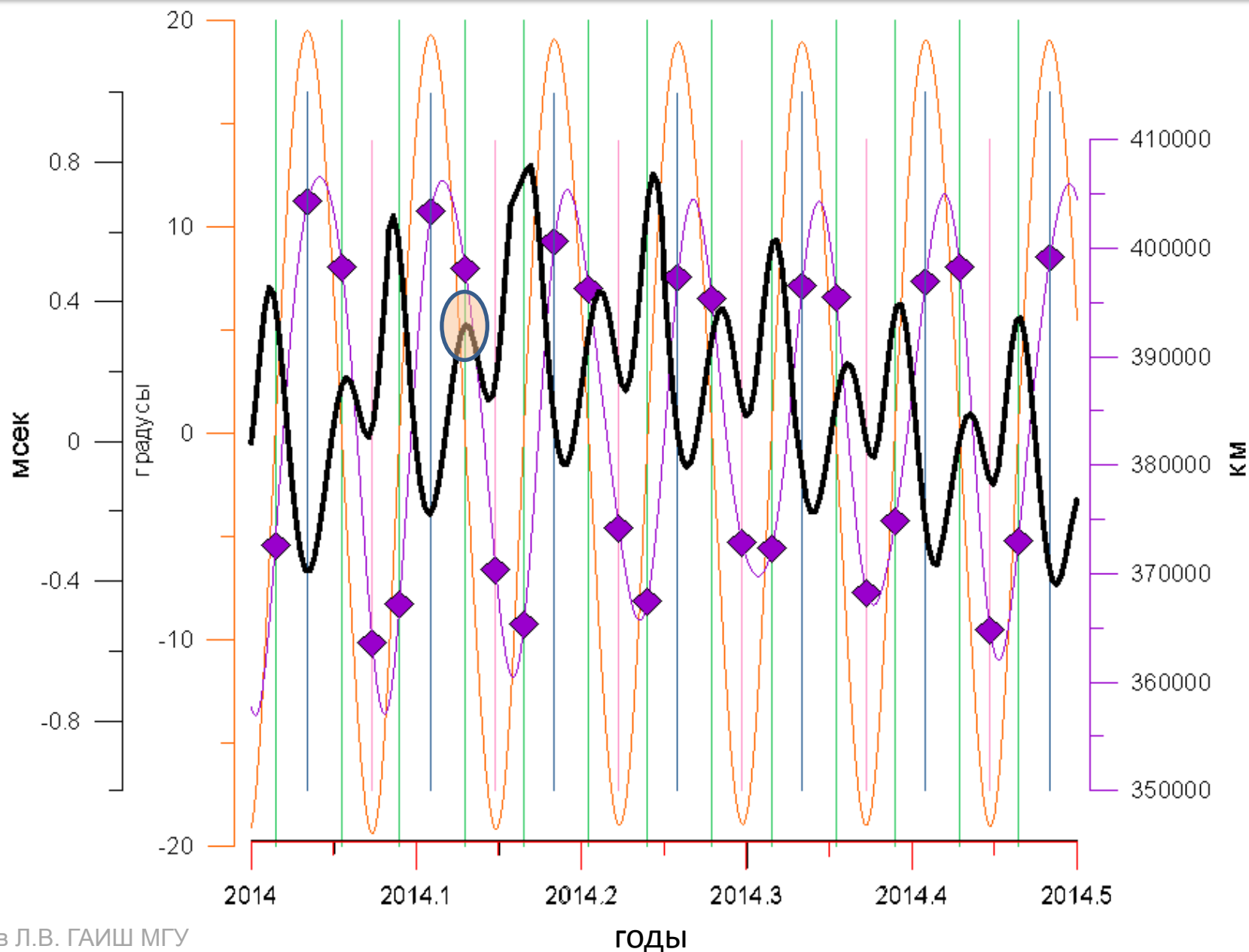


1997,
2015

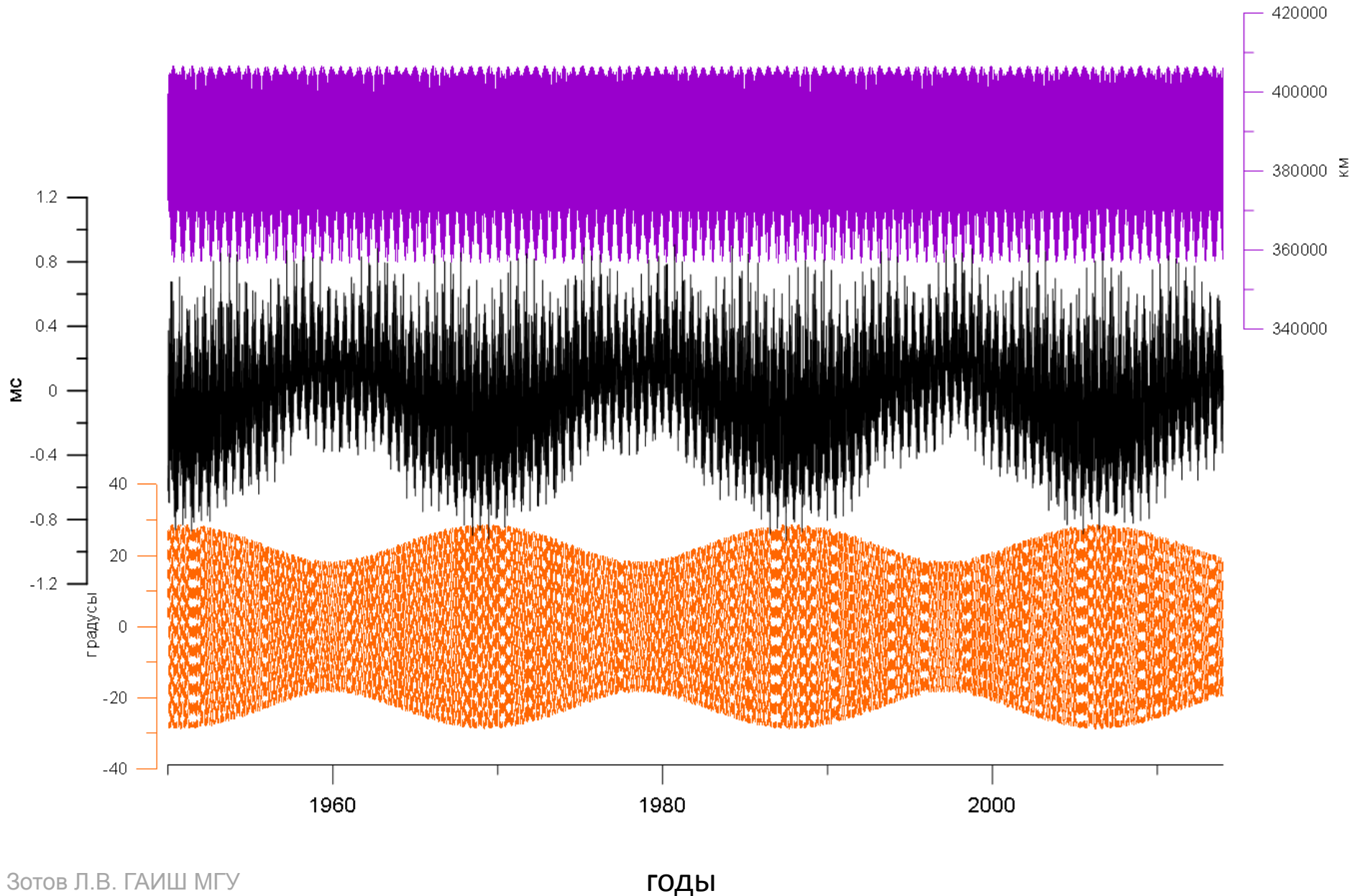


1988,
2007

Движение Луны и зональный прилив

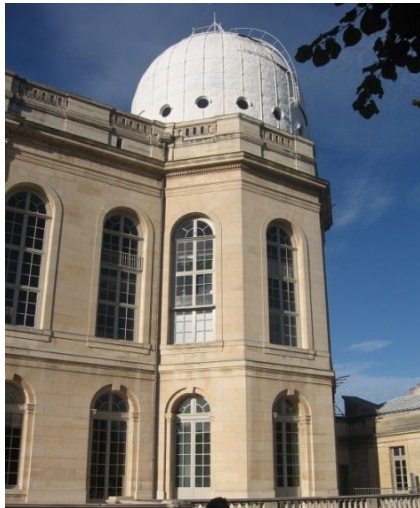


Движение Луны и зональный прилив



Н.С. Сидоренков выдвигает гипотезу :

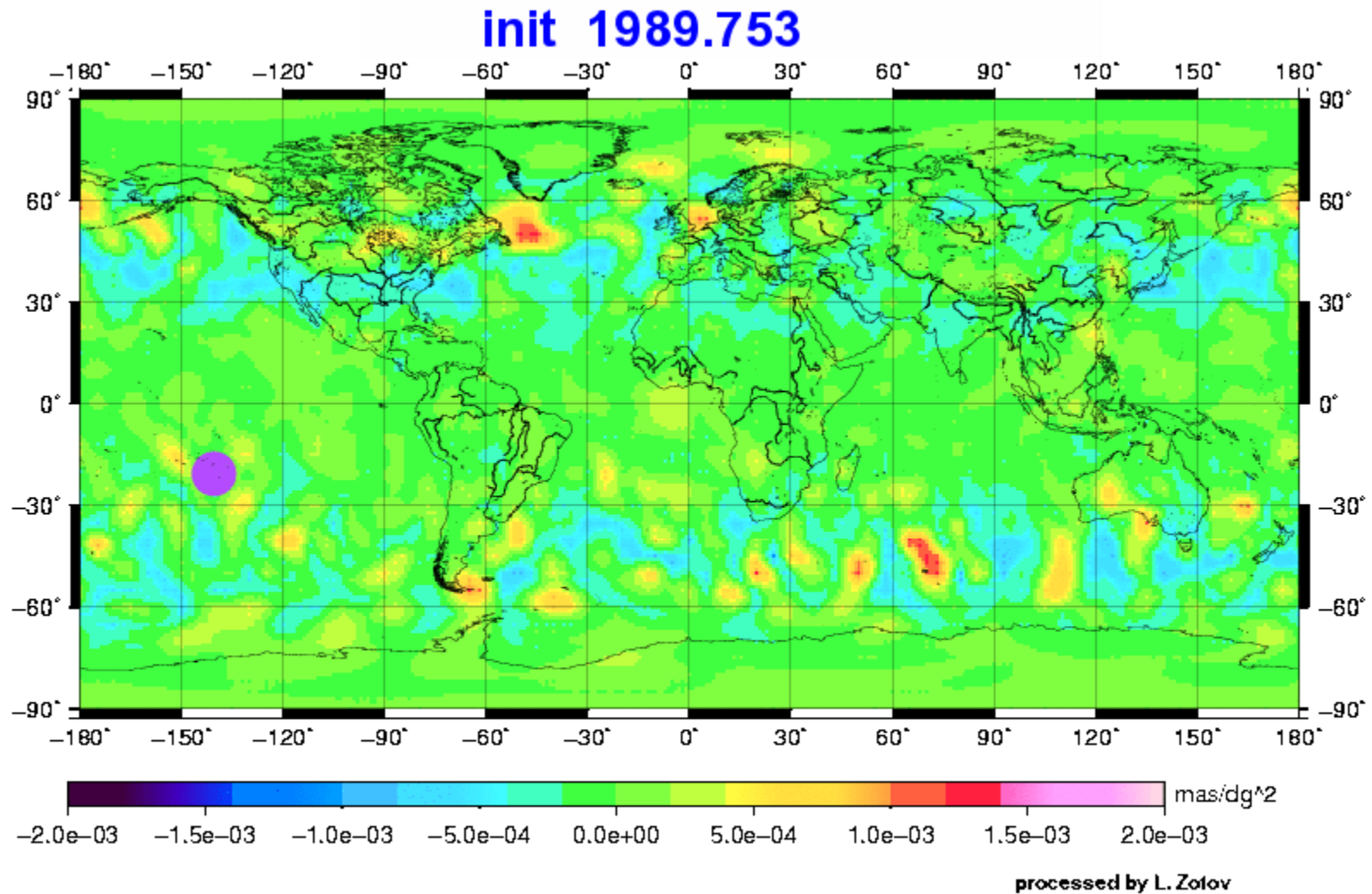
Лунный прилив оказывает влияние на атмосферу, экстремумы LOD соответствуют дням смены метеорологических характеристик



В Парижской обсерватории (Bizouard, Zotov) найдено подтверждение того, что Лунный прилив влияет на ветровую компоненту углового момента атмосферы.

Если Луна воздействует на процессы в океане и атмосфере, это может передаваться вращению Земли через относительный угловой момент

Влияет ли Луна на атмосферу?

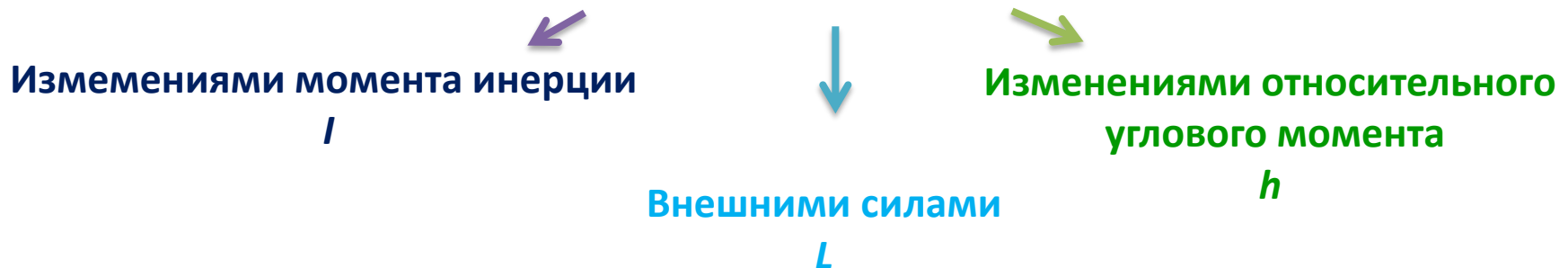


Могут ли изменения климата влиять
на вращение Земли?

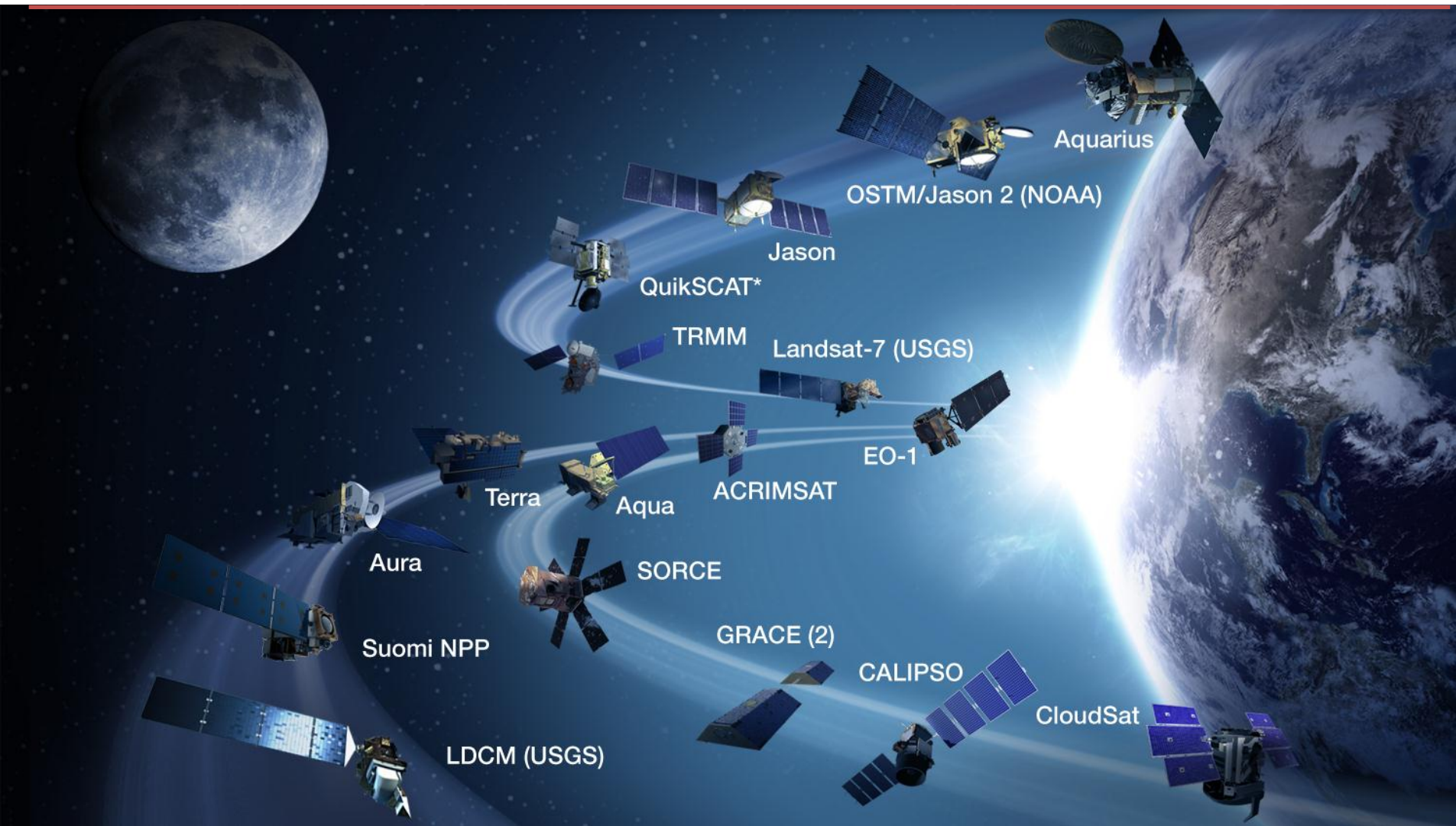
Может ли вращение Земли влиять на
климат ?

Может ли какой-либо фактор влиять как на
Климат, так и на вращение Земли?

Изменения во вращении Земли могут быть вызваны



Спутниковые миссии по наблюдению за Землей NASA



**Большие объемы данных предоставляются научному сообществу
Их анализ требует международного сотрудничества**

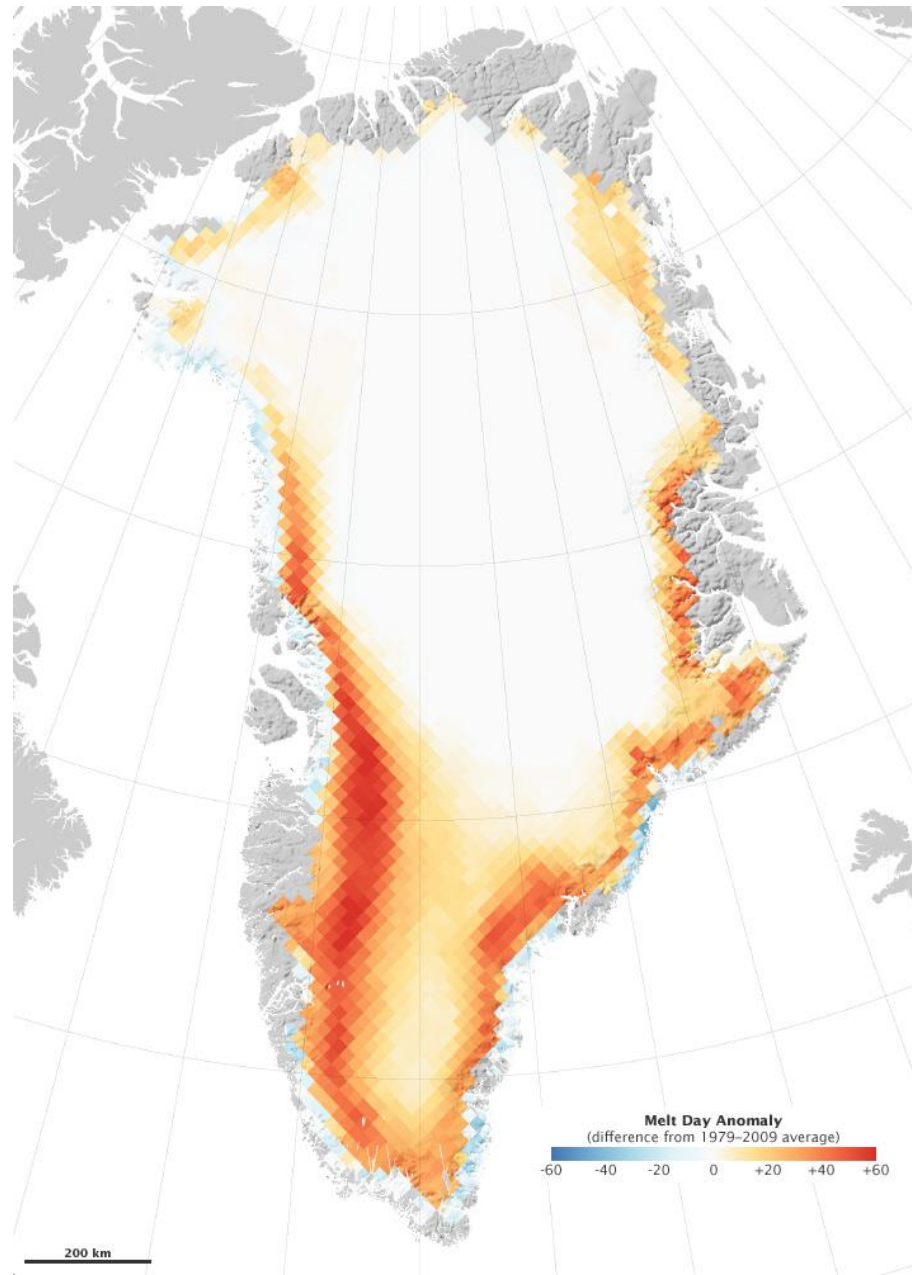
Сентябрь 2012 – исторический минимум льдов Арктики (с 1979), GCOM-W1



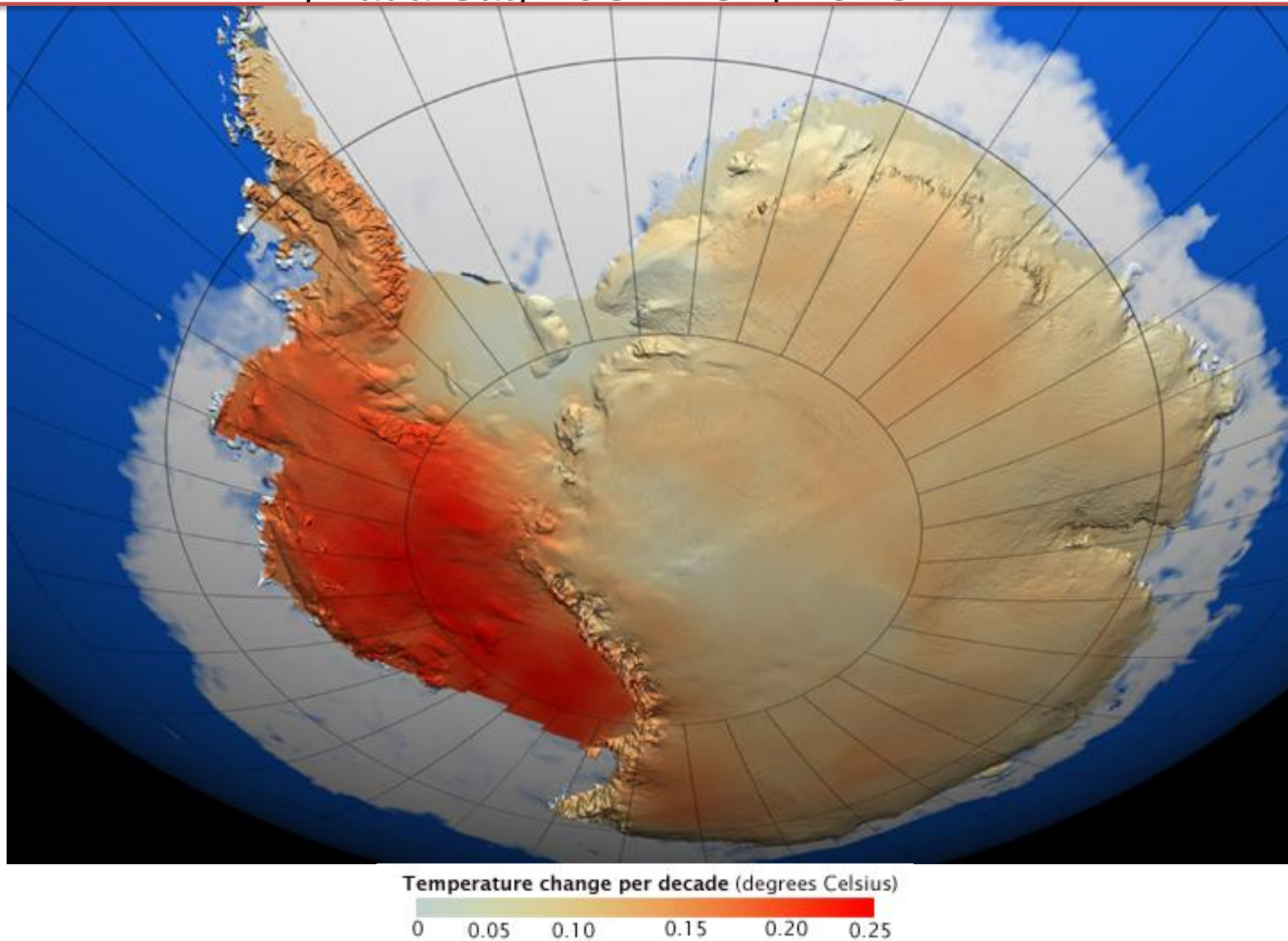
6.7 млн. кв. км

3.41 млн. кв. км

Потеря массы в Гренландии 1979-2009

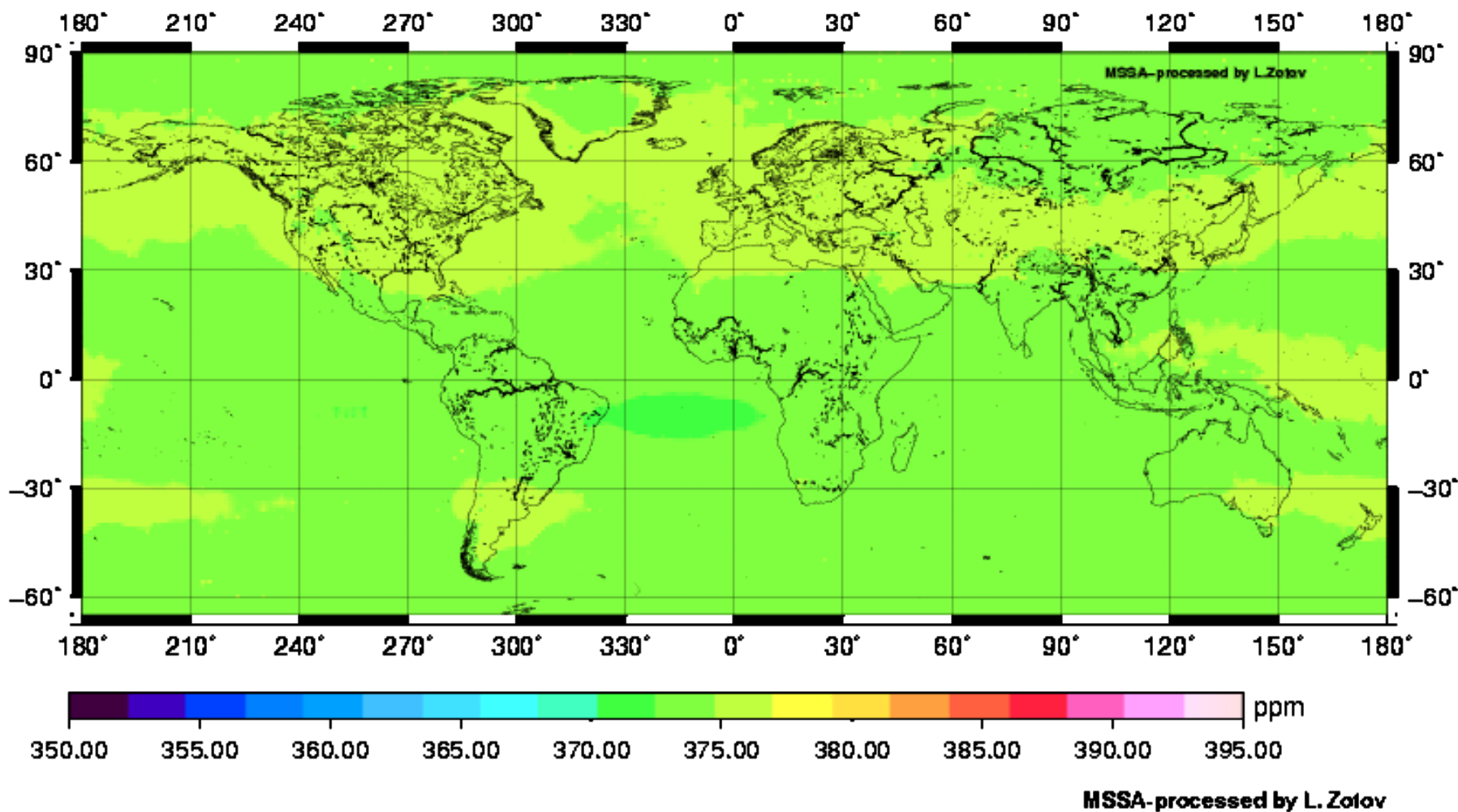


Изменения температуры в Антарктиде 1957-2006 г. LIMA, RadarSat, EOS AMSR, POES AVHRR

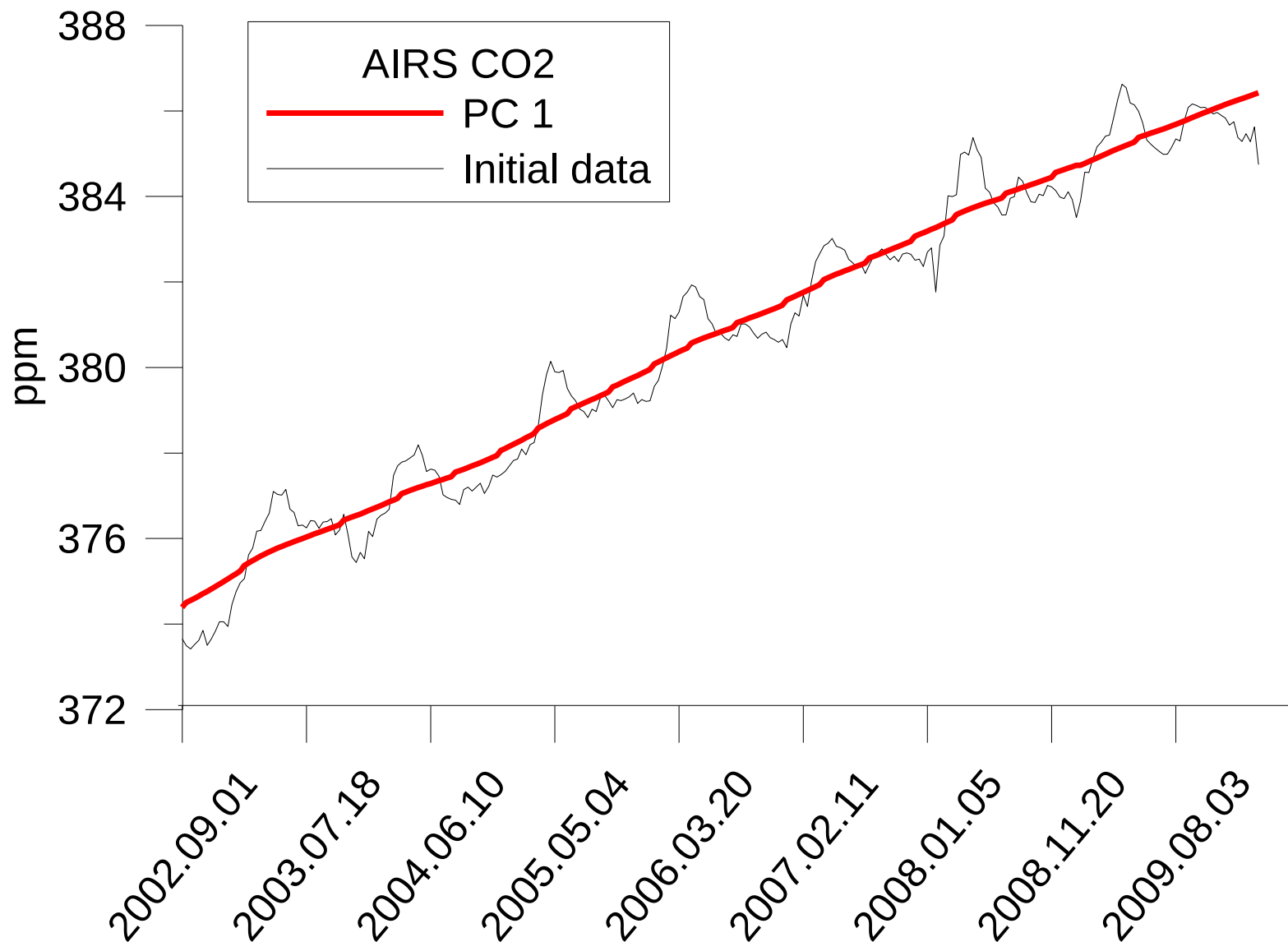


Долгопериодические изменения CO_2 в тропосфере по данным инфракрасного атмосферного радара AIRS на борту спутника Aura

PC 1 2002.09.01

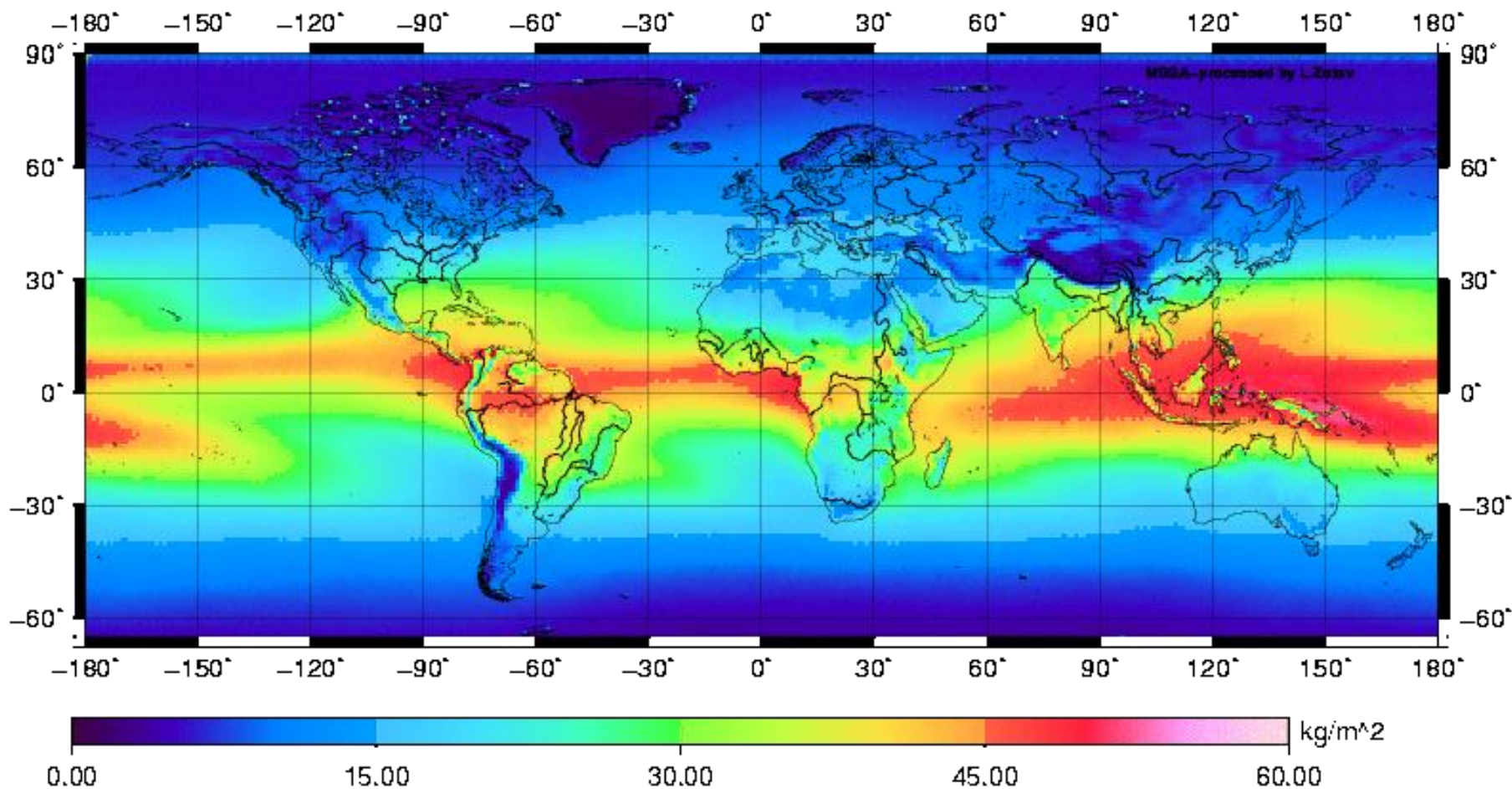


Рост концентраций CO₂ в тропосфере



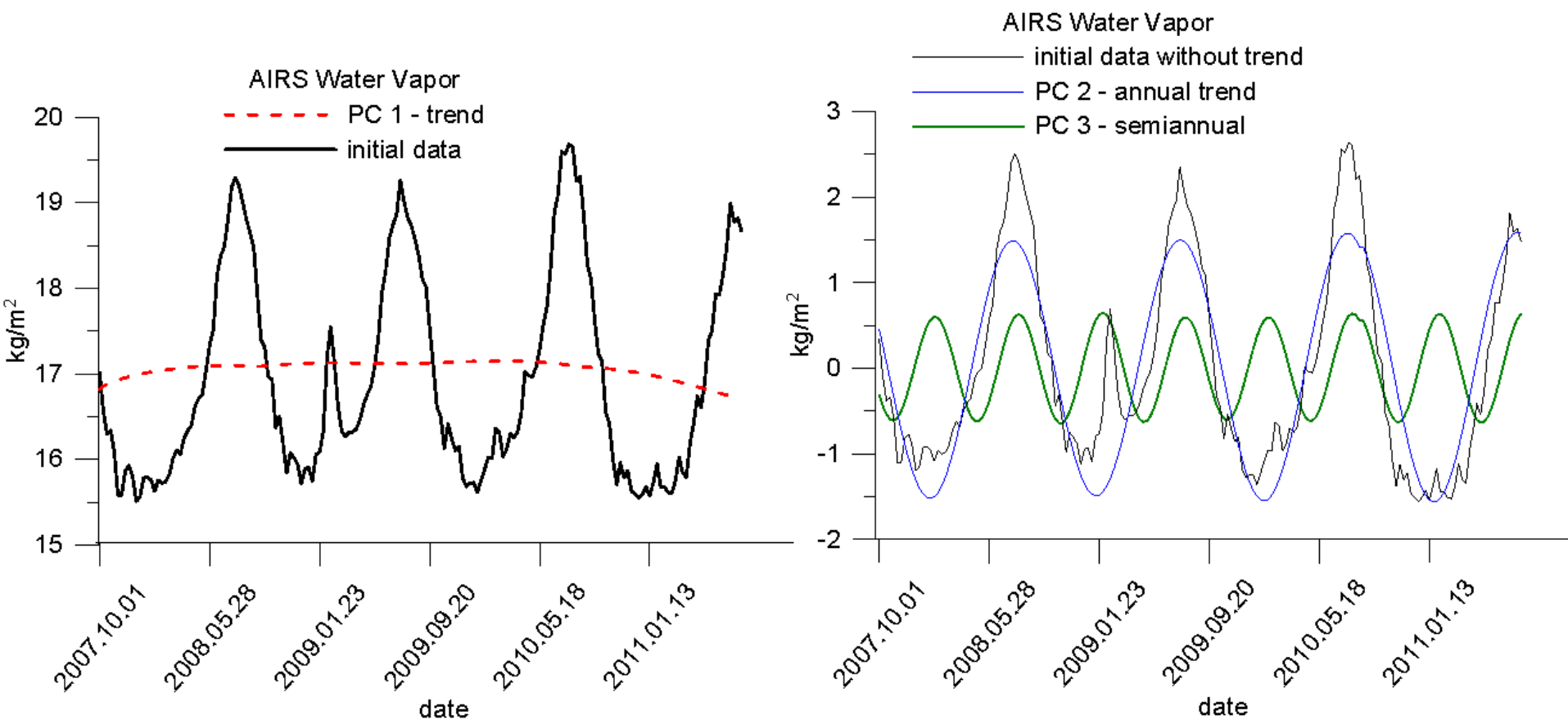
Изменения концентрации водяного пара в атмосфере по данным AIRS на борту спутника Aura

PC 1 2007.10.01



AIRS Water Vapor 8-day Gridded data
MSSA L=45

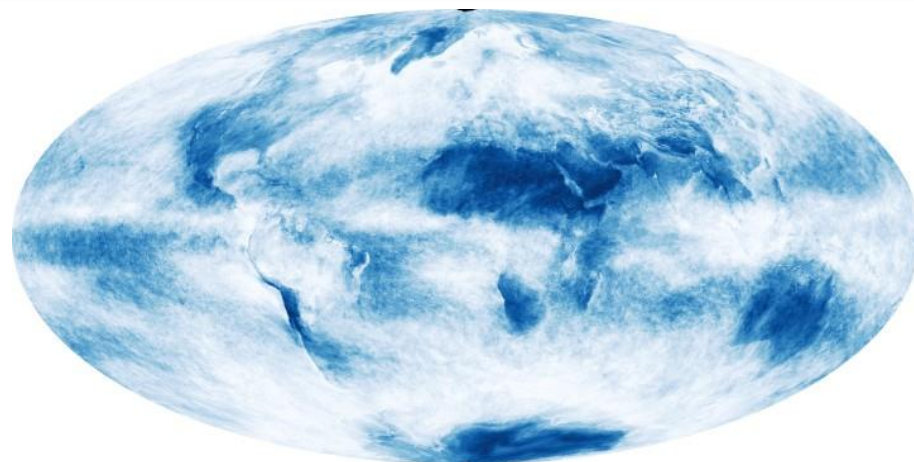
Изменения концентрации водяного пара в атмосфере по данным AIRS



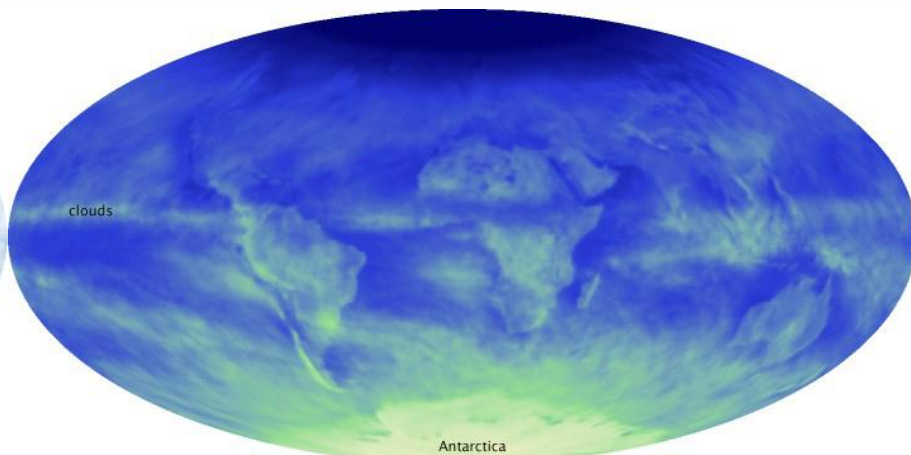
Примеры глобальных данных

Облачность, MODIS, XI 2009

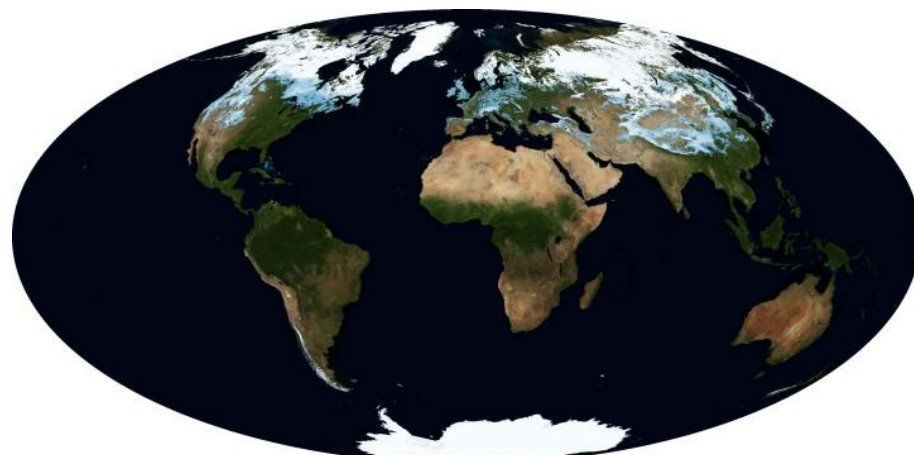
Отраженная радиация, CERES, XI 2009



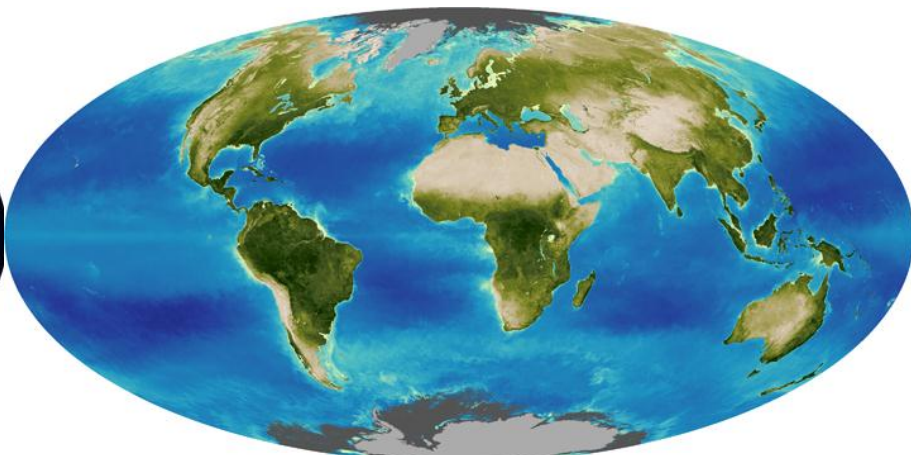
Cloud Fraction (%)
0 50 100



Reflected Shortwave Radiation (W/m^2)
0 212.5 425



Fractional Snow Cover (%)
>0 50 100



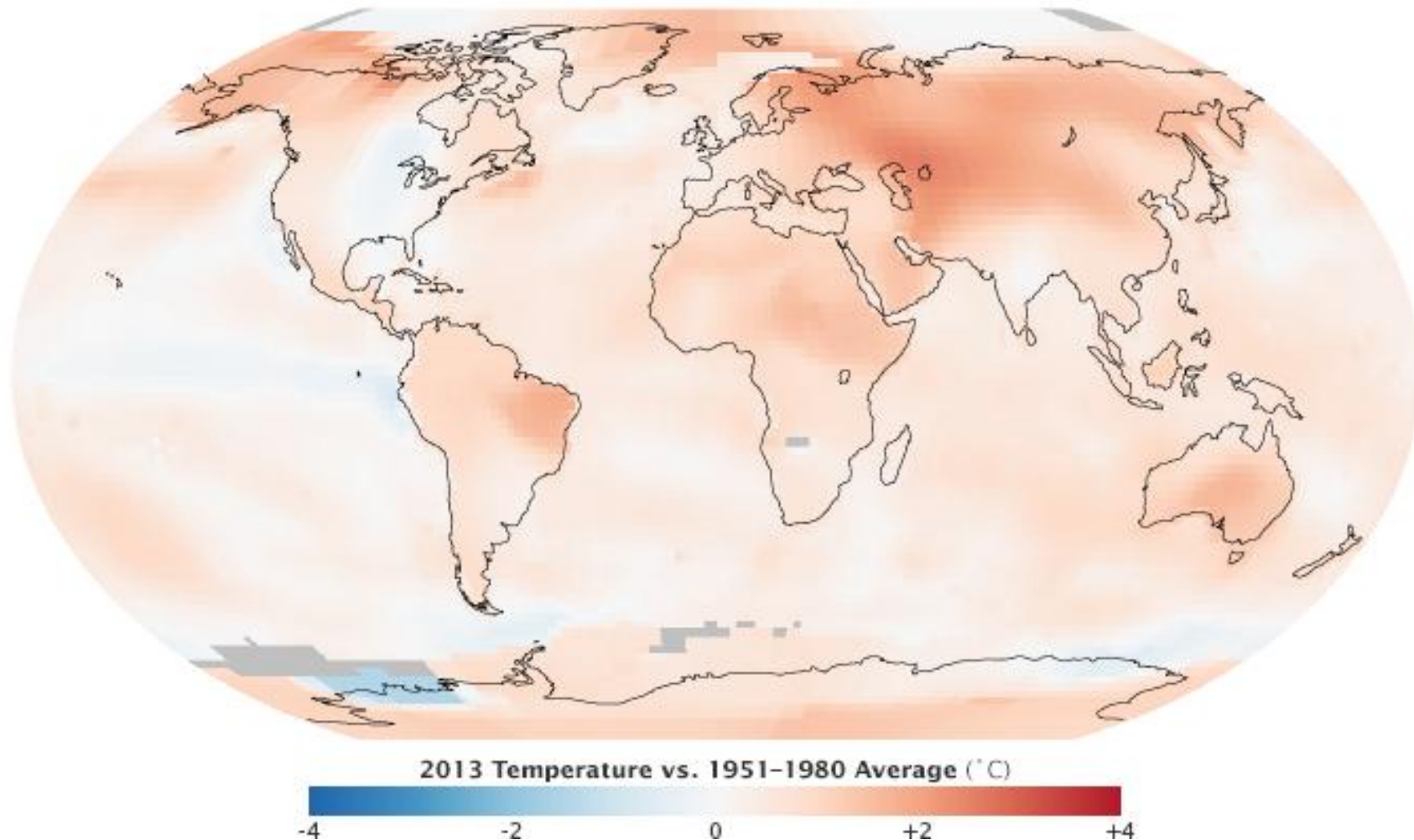
Chlorophyll Concentration (mg/m^3)
0.01 0.1 1 10 50
Vegetation Index
0 0.2 0.4 0.6 0.8

Снежный покров, MODIS, XI 2009

Фотосинтез, биомасса SeaWiFS, 2008

Аномалия температур в 2013 в сравнении с 1951-1980

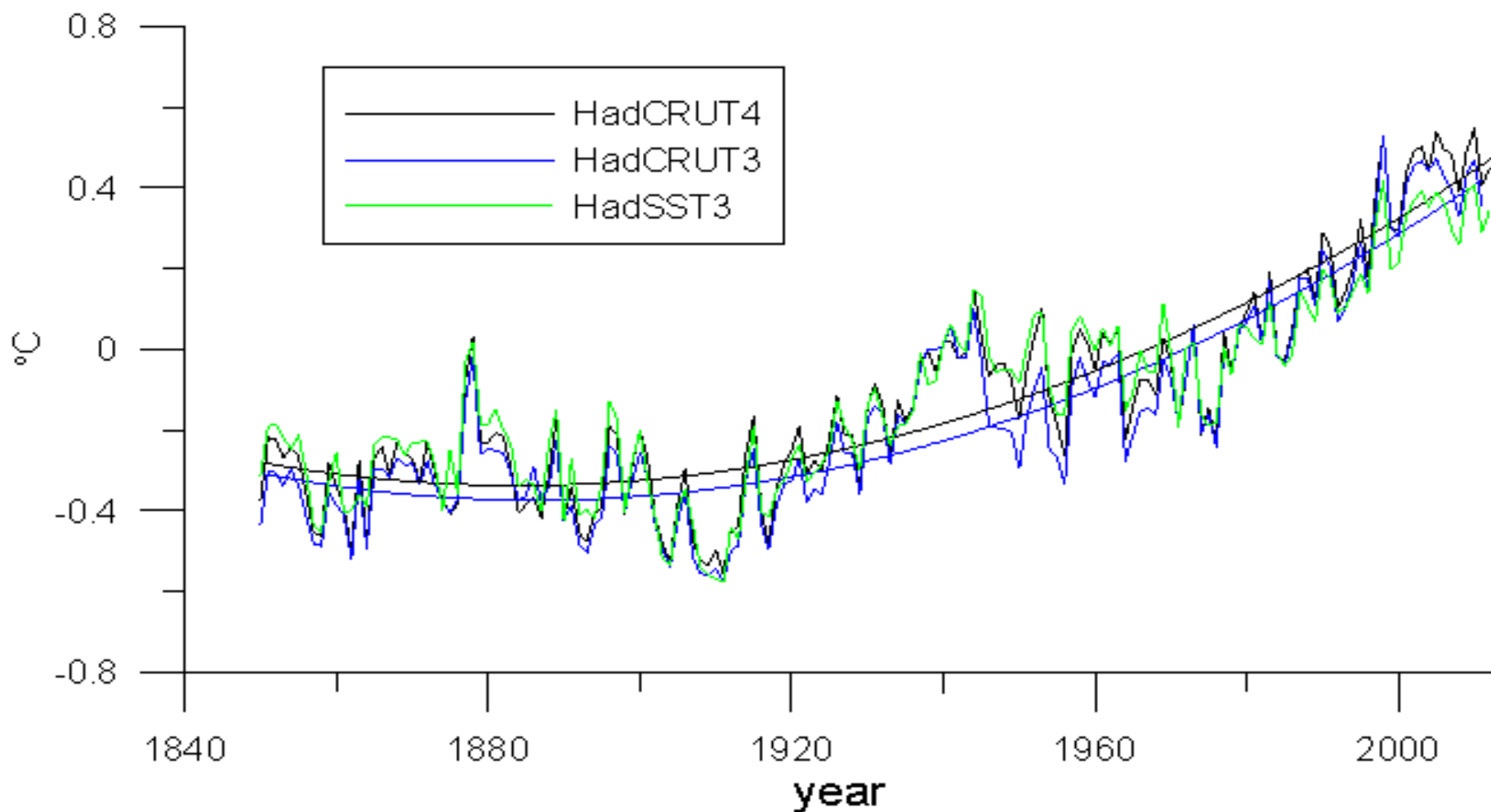
2013 Temperature Anomaly



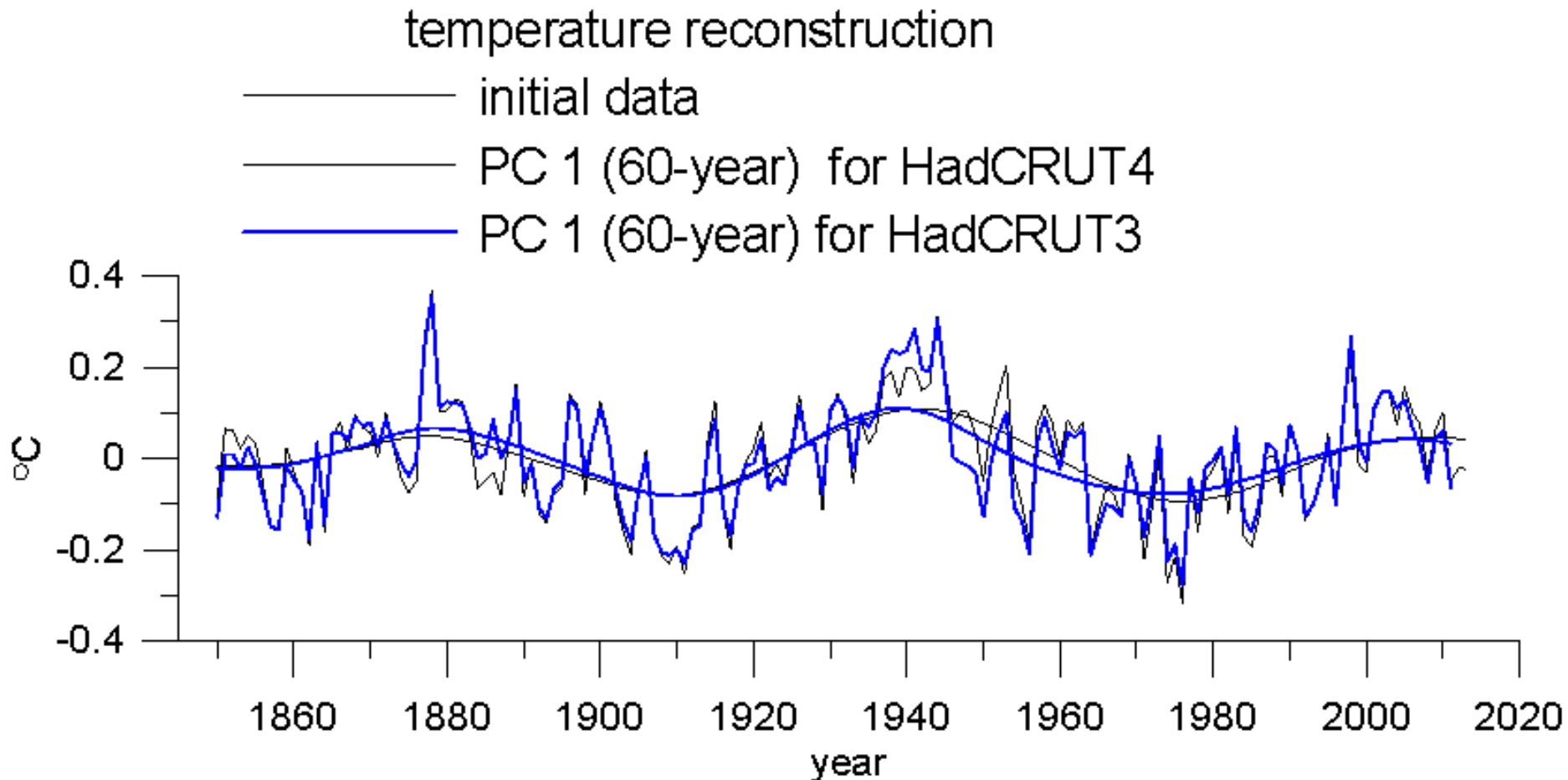
Пятый отчет IPCC “ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА 2013”

Предварительная версия утверждена в Стокгольме 26 сентября 2013 г.

Ряд HadCRUT4 получен из данных по температуре океана и суши

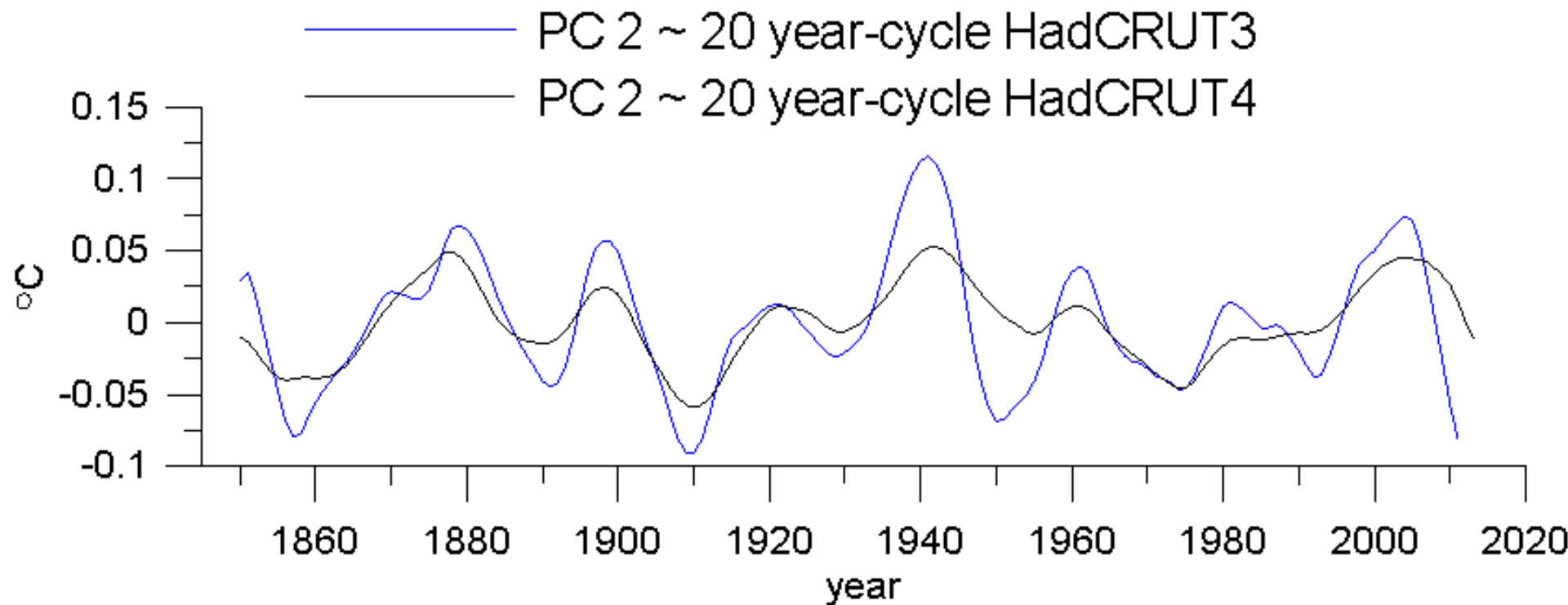


Сингулярный спектральный анализ (ССА) данных HadCRUT после снятия тренда PC 1 - 60-летняя компонента



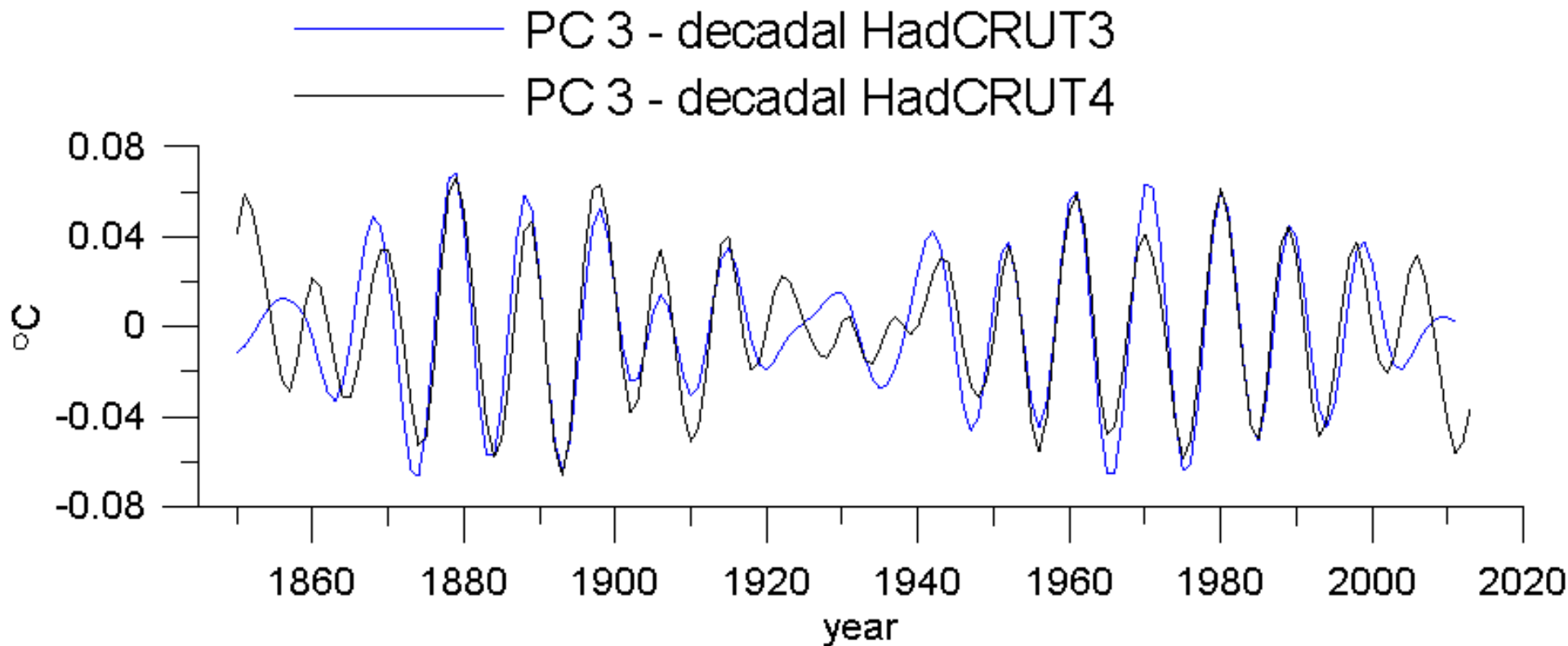
L=20 лет

PC 2 - 20 летняя компонента температур



L=20 лет

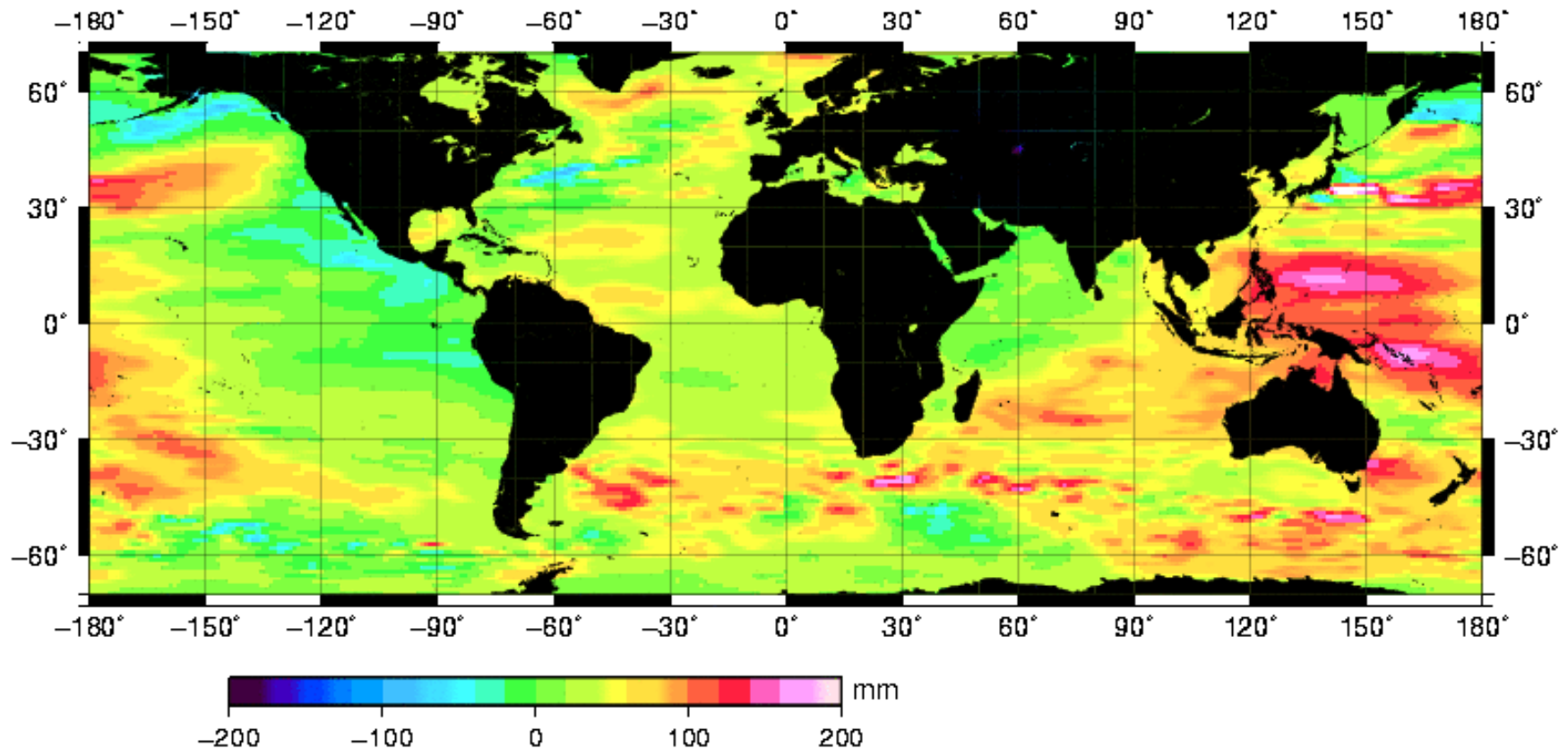
PC 3 - 10 летняя компонента температур



L=20 лет

Изменения глобального уровня моря

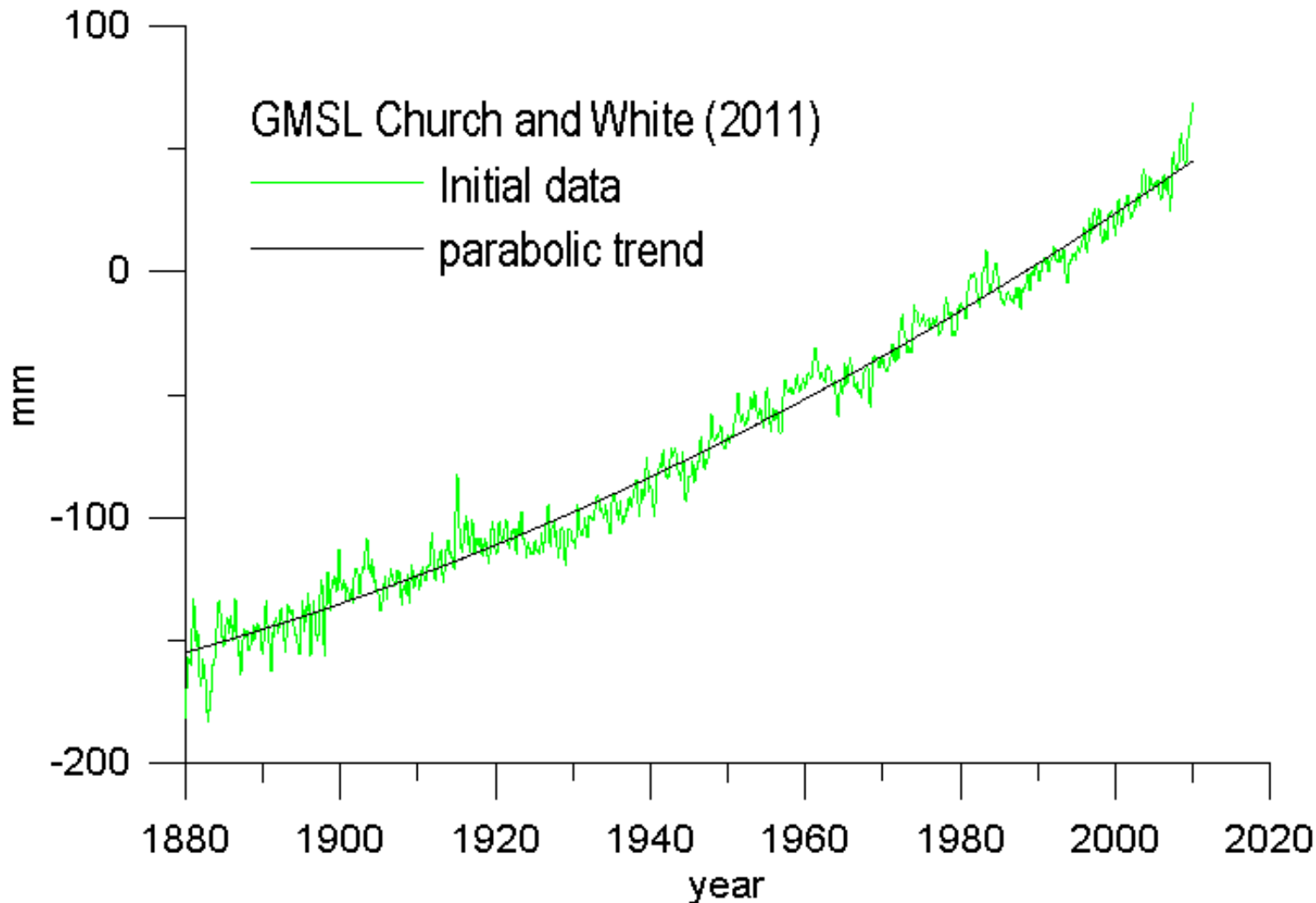
change 1992 10 2010 11



Стерические изменения связаны с нагревом и термическим расширением,
а также с изменениями солёности

Maps of Sea Level Anomalies & geostrophic velocity anomalies (MSLA)
Merged data from AVISO

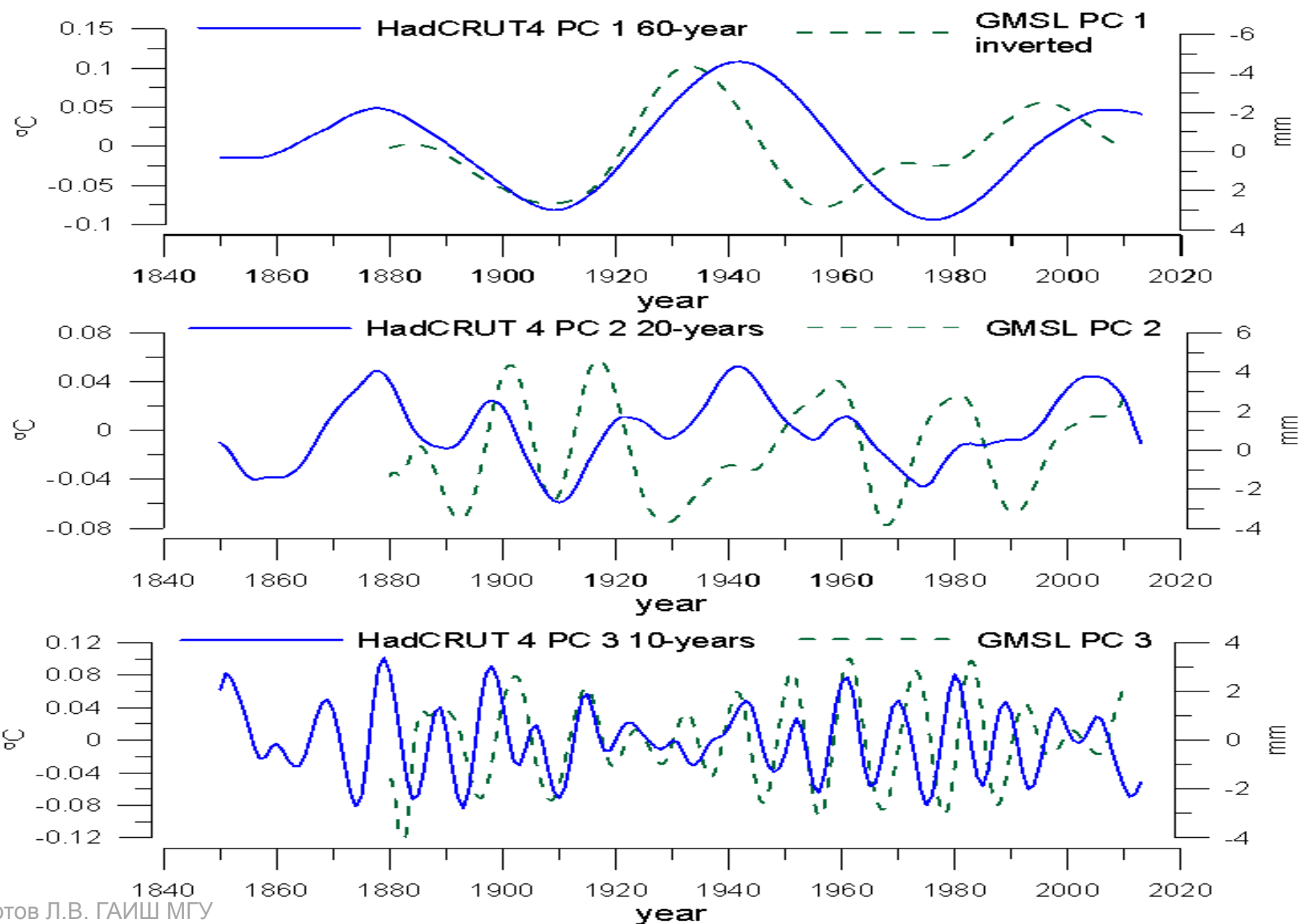
Данные по глобальному уровню моря Global Mean Sea Level (GMSL)



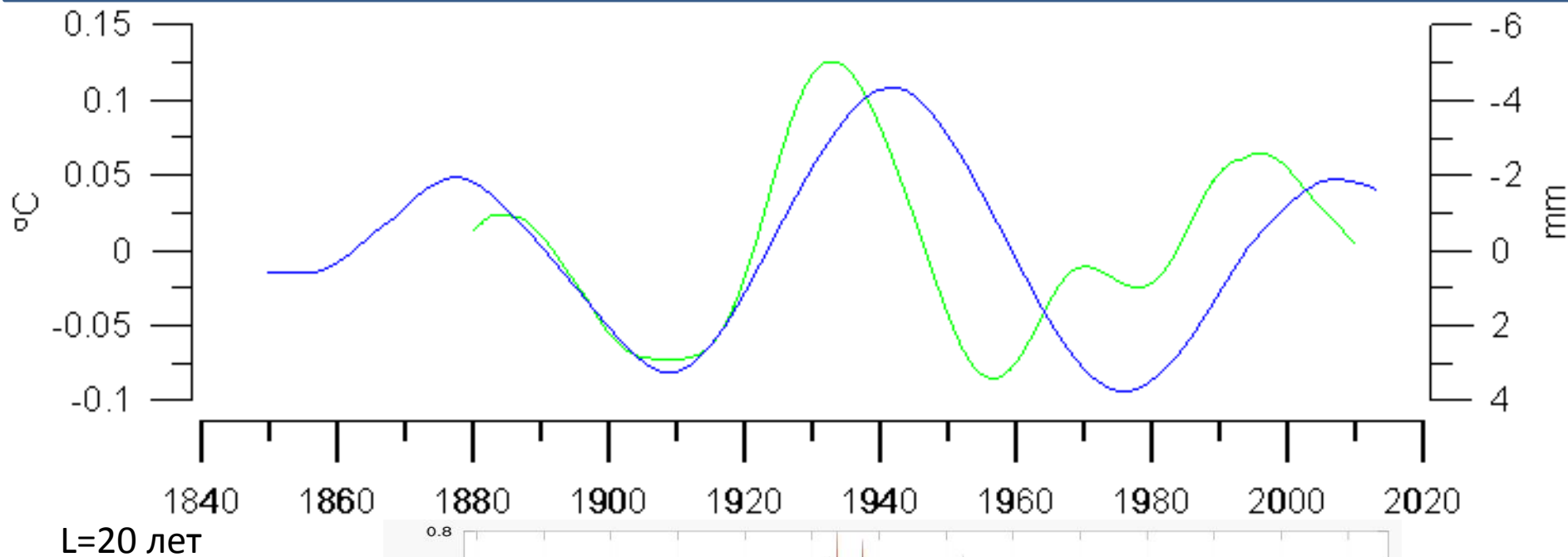
Лаг L=20 лет

См. доклады
L. Zotov,
а также
Fumei Wu's
на
APSG 2013,

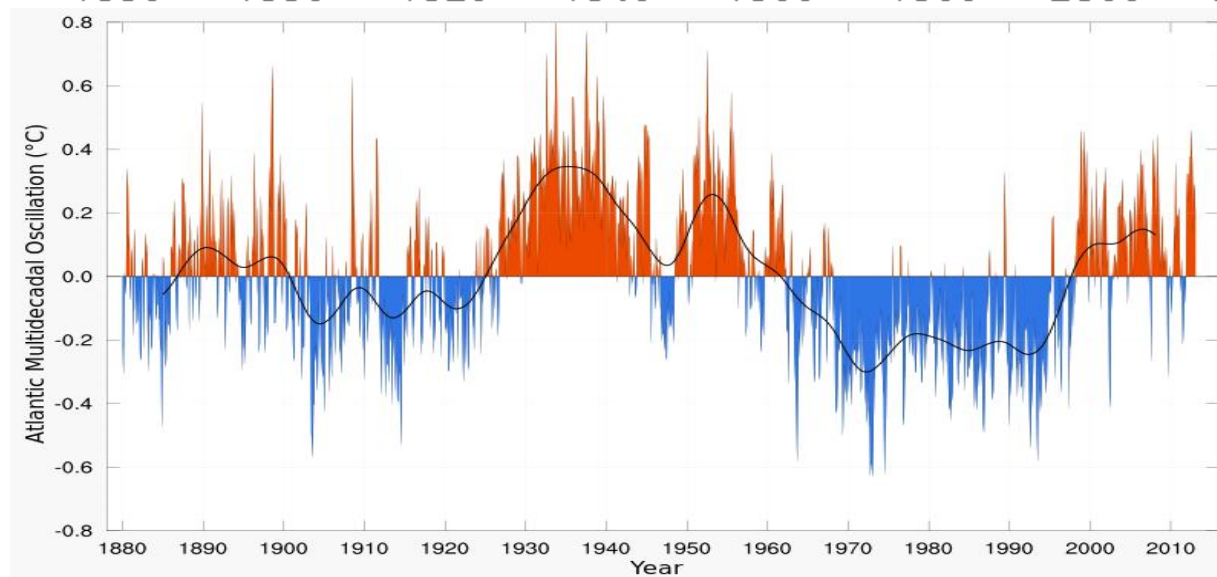
Сходные ССА- компоненты в Уровне моря и температурах



60-летняя компонента в уровне моря и температуре



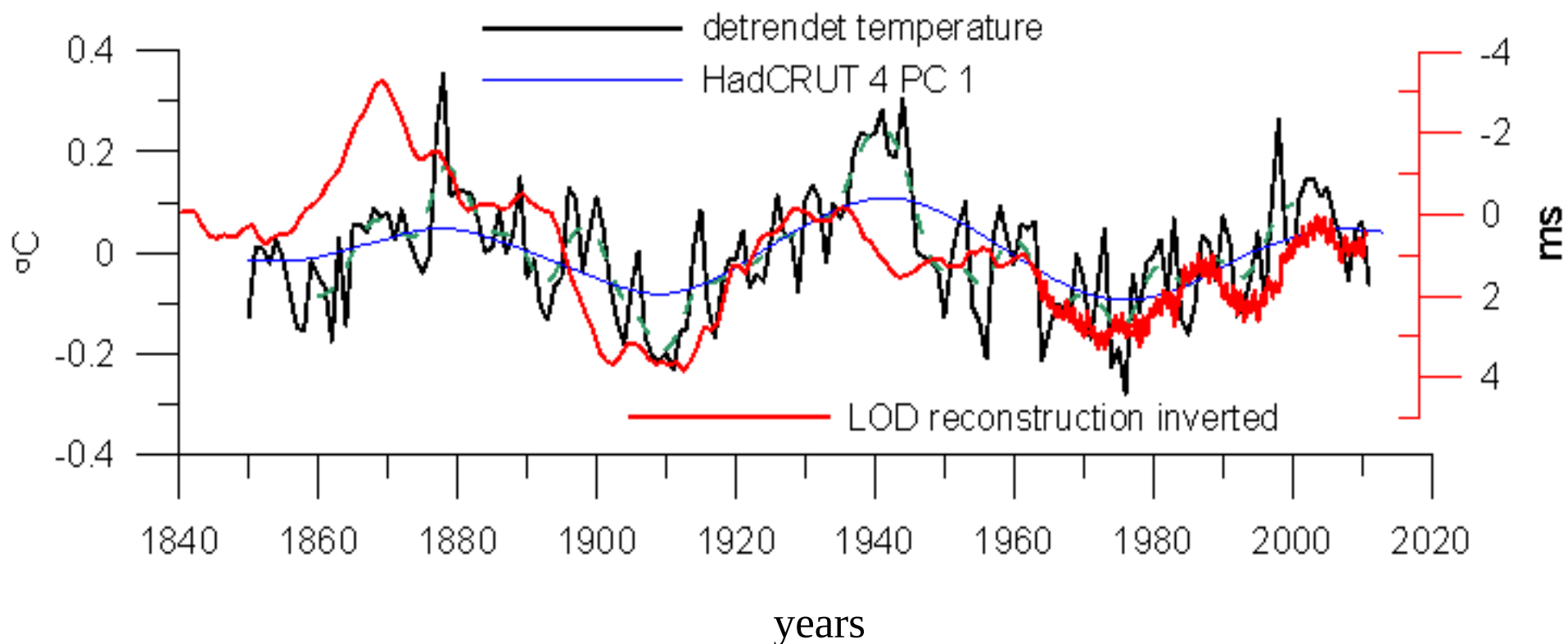
АМО



HadCRUT после снятия тренда и продолжительность суток LOD

Температура после снятия тренда

Инвертированная LOD

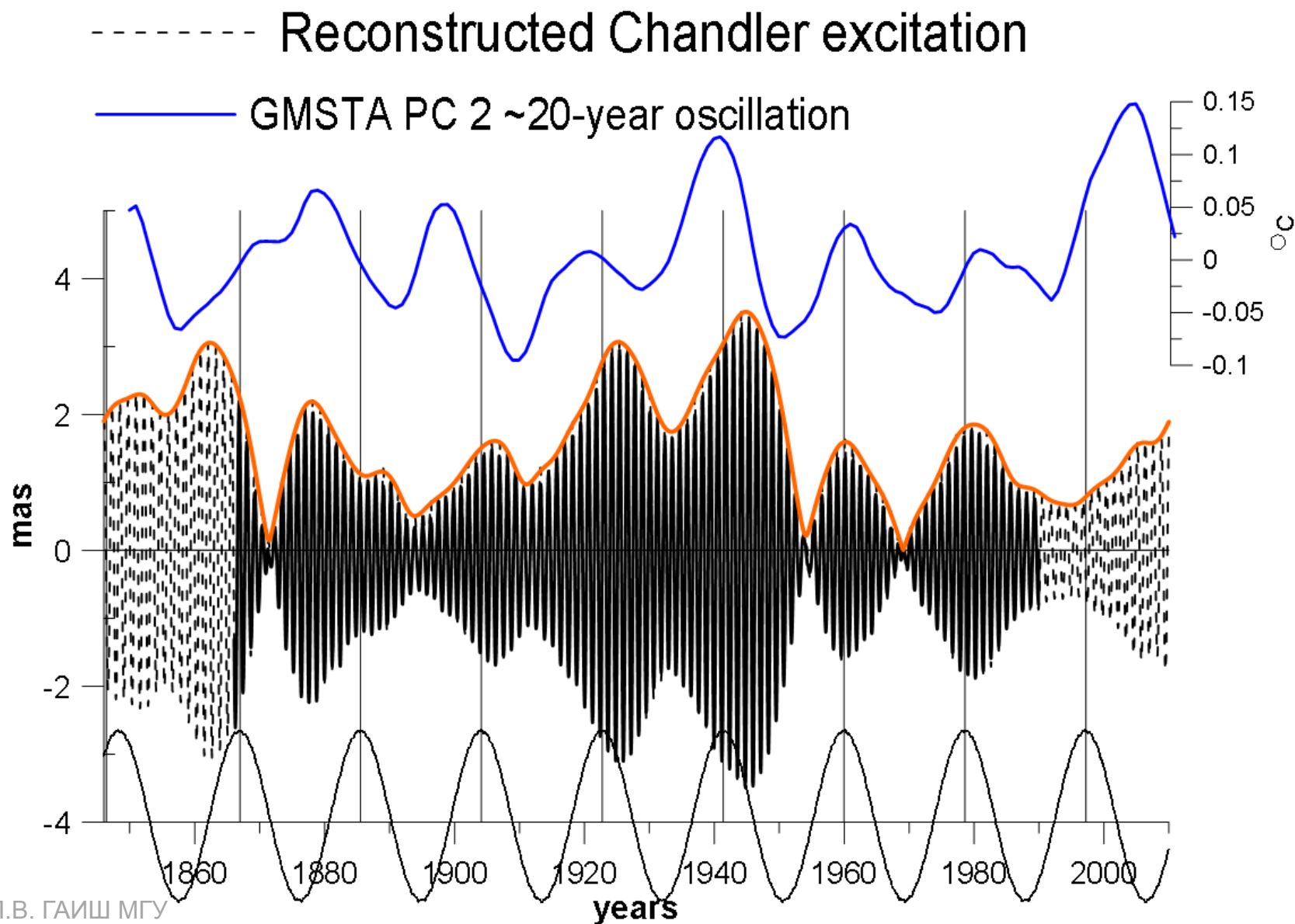


Корреляция
0.43-0.55

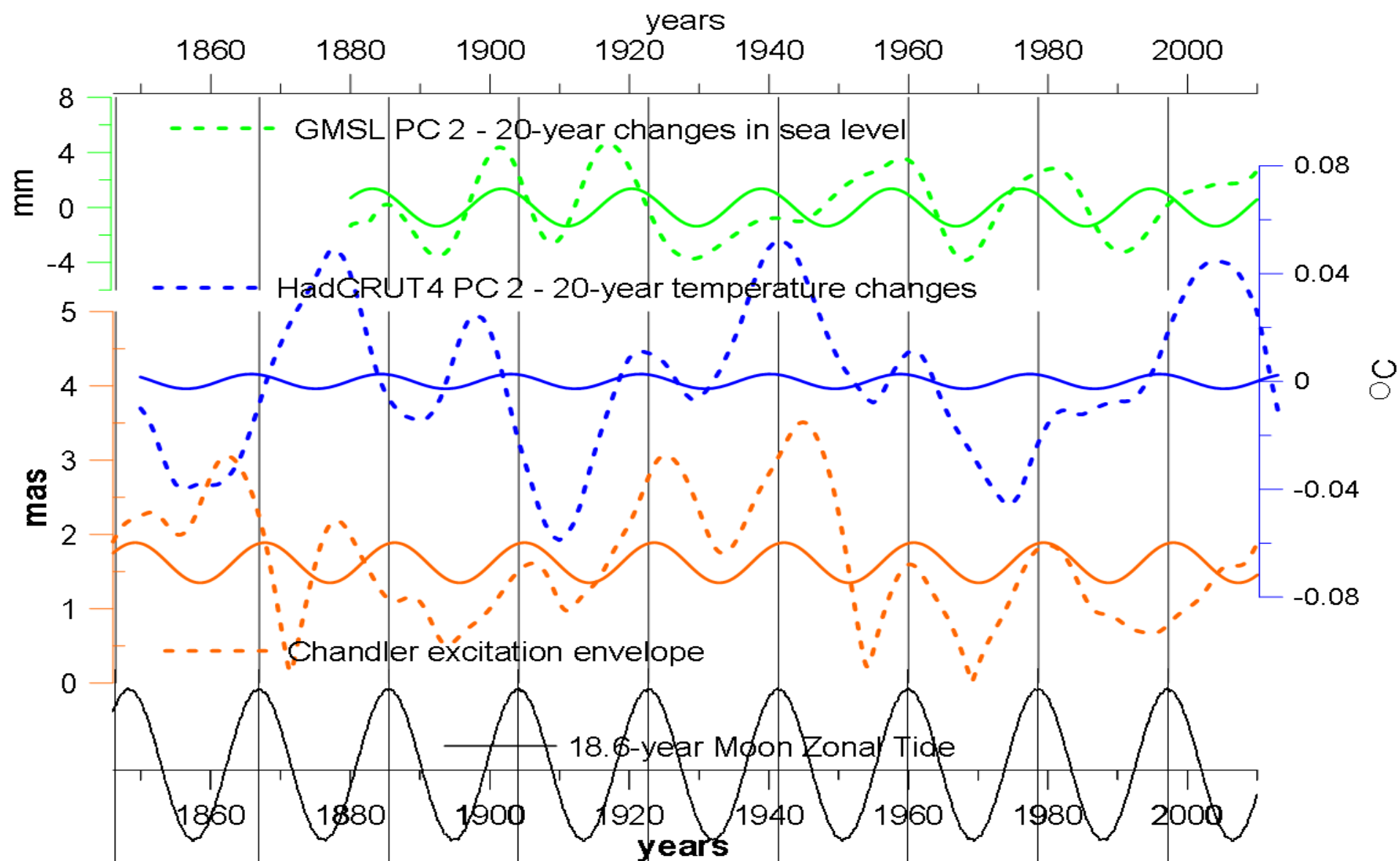
Как они могут быть взаимосвязаны?

Вопрос поставлен уже К. Ламбеком в монографии 1980 г.

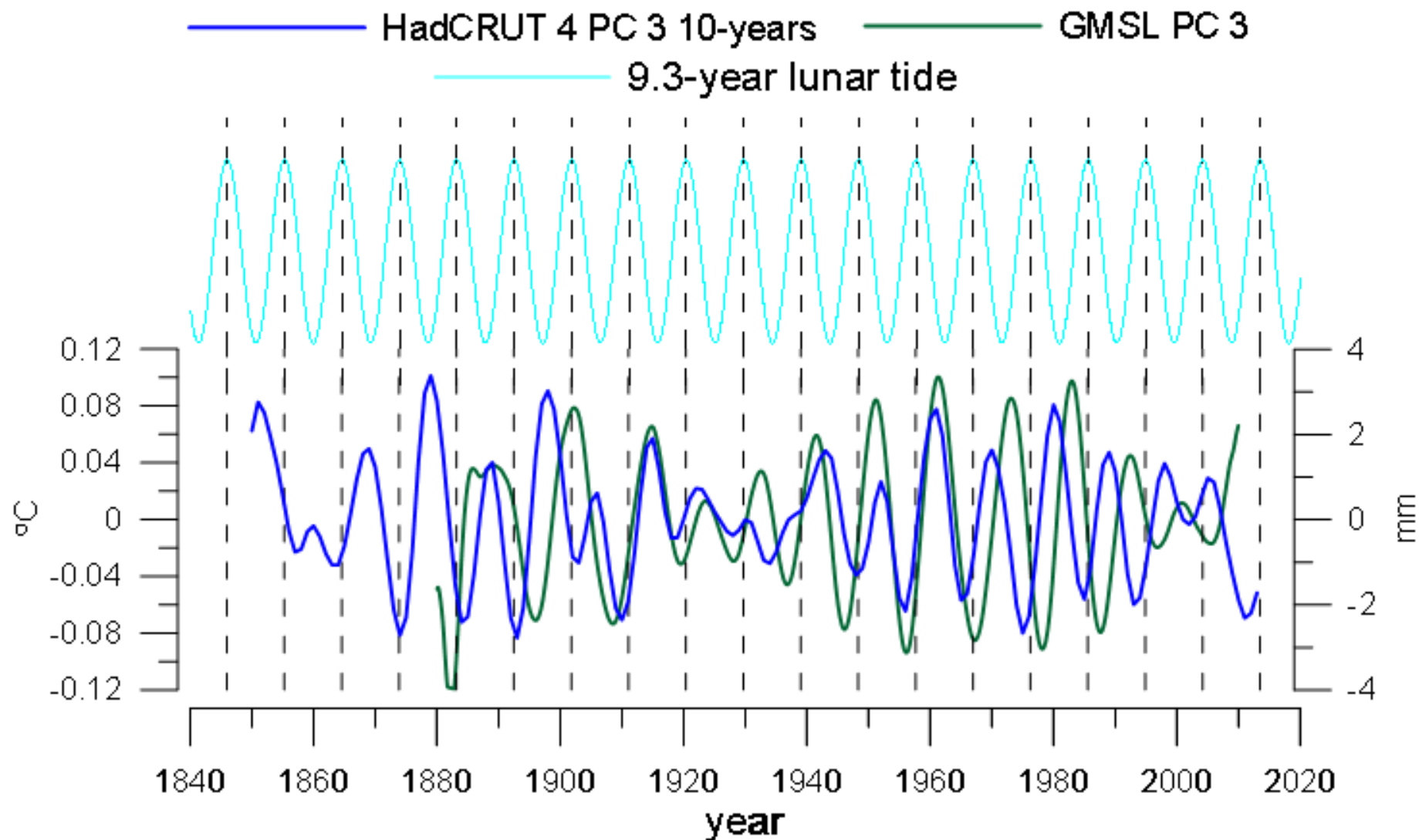
20-летняя компонента в температуре и Чандлеровское возбуждение



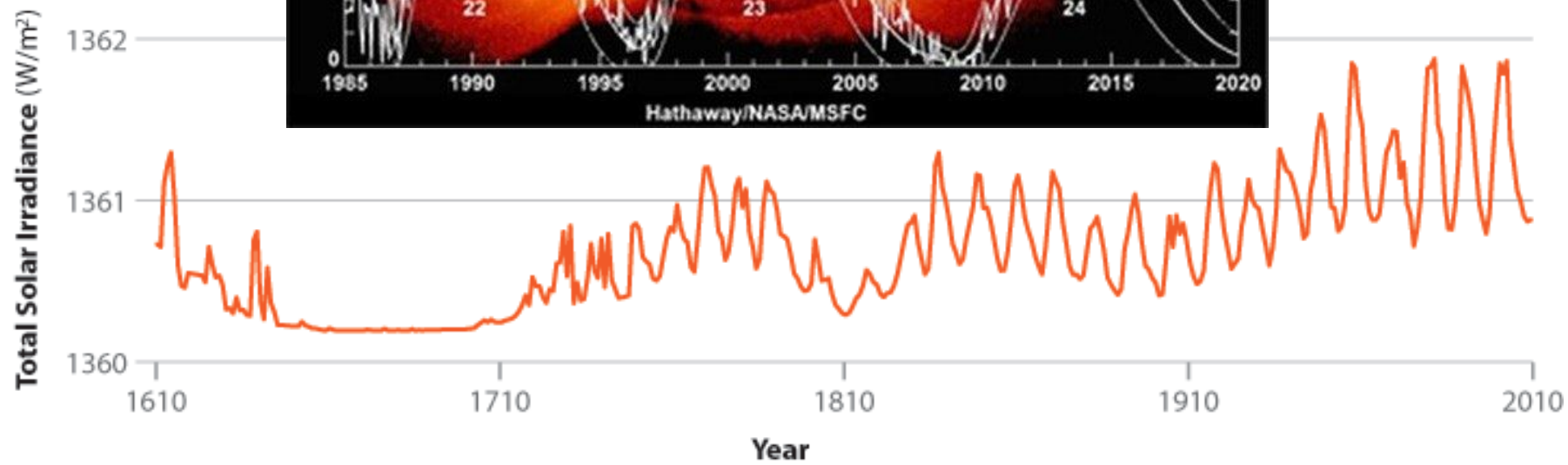
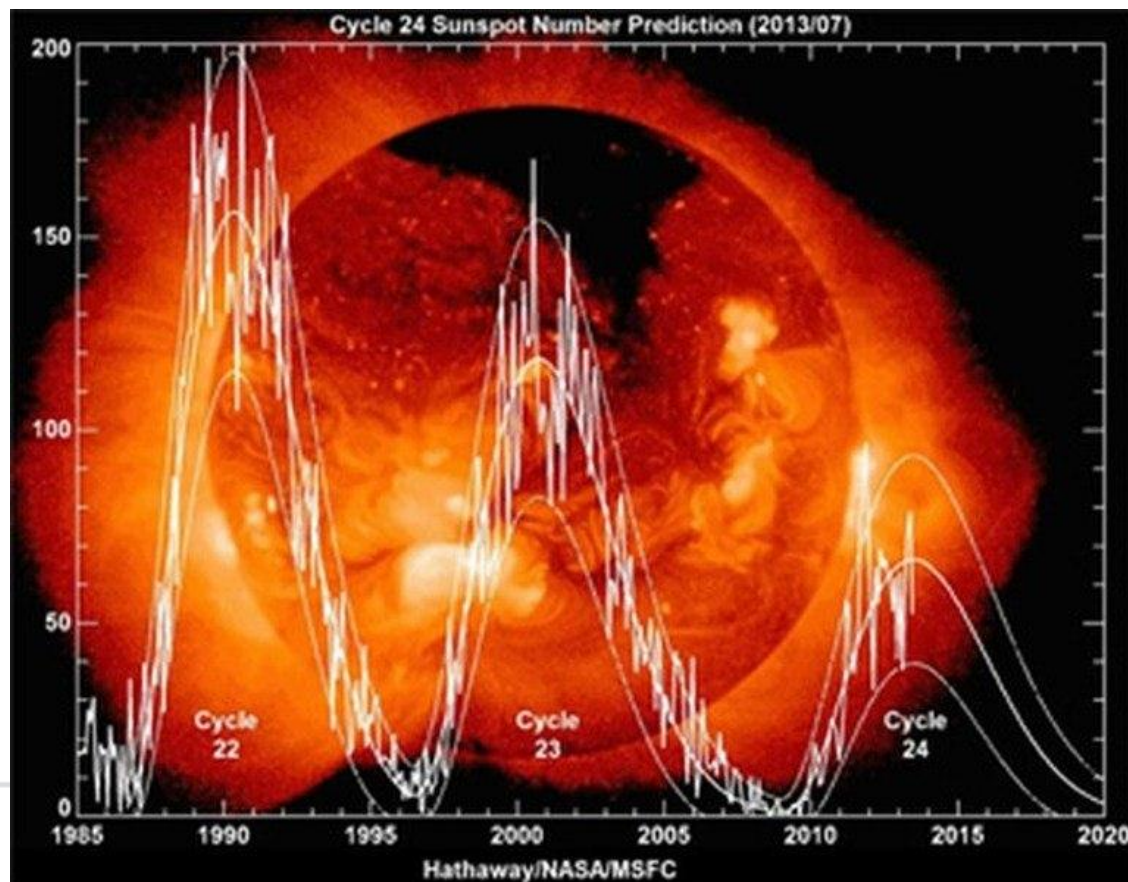
20-летние вариации температуры, уровня моря, Чандлеровского возбуждения, и 18.6-летняя волна



Сопоставление 10-летней компоненты с 9.3-летним приливом



Слабейший солнечный цикл?



Science

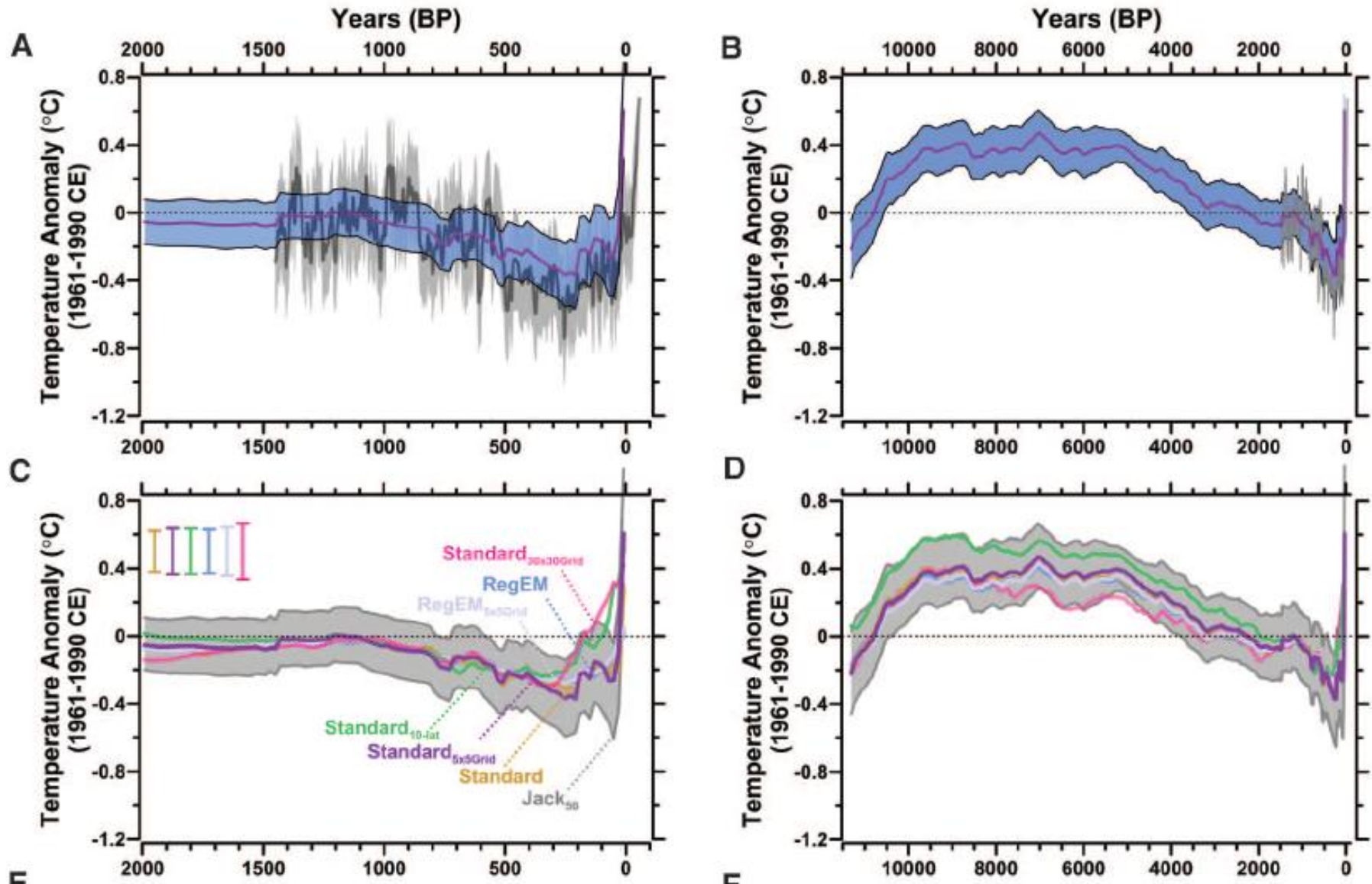
AAAS

A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years

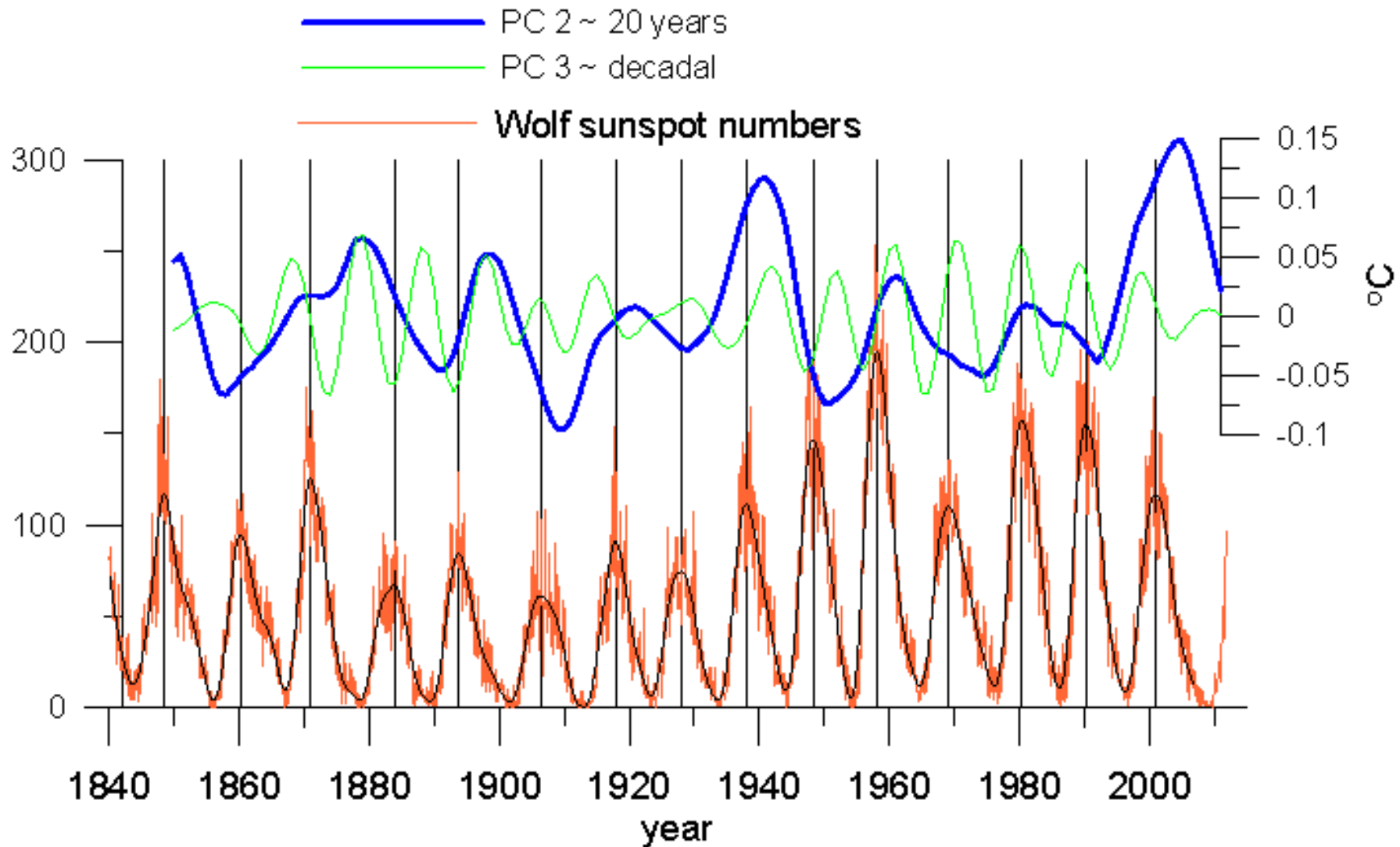
Shaun A. Marcott *et al.*

Science **339**, 1198 (2013);

DOI: 10.1126/science.1228026



Сопоставление с числами Вольфа



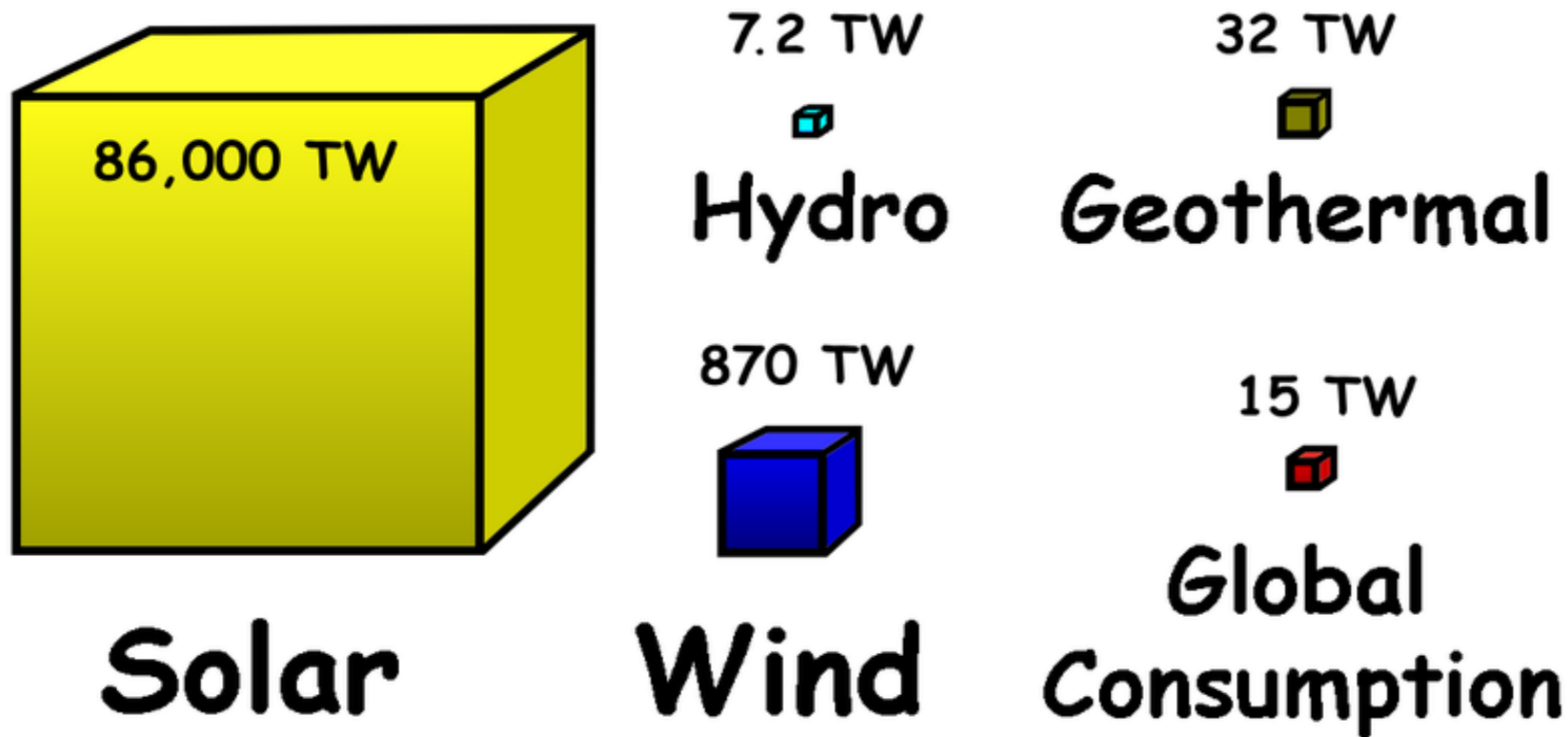
Некоторые энергетические оценки

Увеличение температуры океана (верхние 0-700 м)	$\sim 0.1^\circ$ за 50 лет
Энергия для нагрева	10^{23} Дж за 50 лет
Полная поглощаемая солнечная энергия	$\sim 4 \cdot 10^{24}$ Дж в год
Потери энергии в Чандлеровском колебании	$2 \cdot 10^{13}$ эрг/с
Увеличение полуоси Лунной орбиты	4 см/год
Приток грав. энергии от удаления Луны	$4 \cdot 10^{19}$ эрг/с
Вариации углового момента атмосферы	10^{22} эрг/с

$$1 \text{ эрг/с} \sim 3 \text{ Дж/год}$$

Энергетический баланс

Energy consumption per year



Лунно-Солнечная приливная энергия 3.7 ТВт

Для нагрева слоя океана в 1 км на 0.1° за 50 лет требуется

10^{23} Дж $= 0.28 \cdot 10^{17}$ кВт·ч $= 28$ ПВт · ч $= 3.2$ ТВт·г

Что в ~ 5 раз меньше энергопотребления человечества

(130 ПВт·ч $= 15$ ТВт·г)

Revisiting the Earth's sea-level and energy budgets from 1961 to 2008

John A. Church,¹ Neil J. White,¹ Leonard F. Konikow,² Catia M. Domingues,³ J. Graham Cogley,⁴ Eric Rignot,^{5,6} Jonathan M. Gregory,^{7,8} Michiel R. van den Broeke,⁹ Andrew J. Monaghan,¹⁰ and Isabella Velicogna^{5,6}

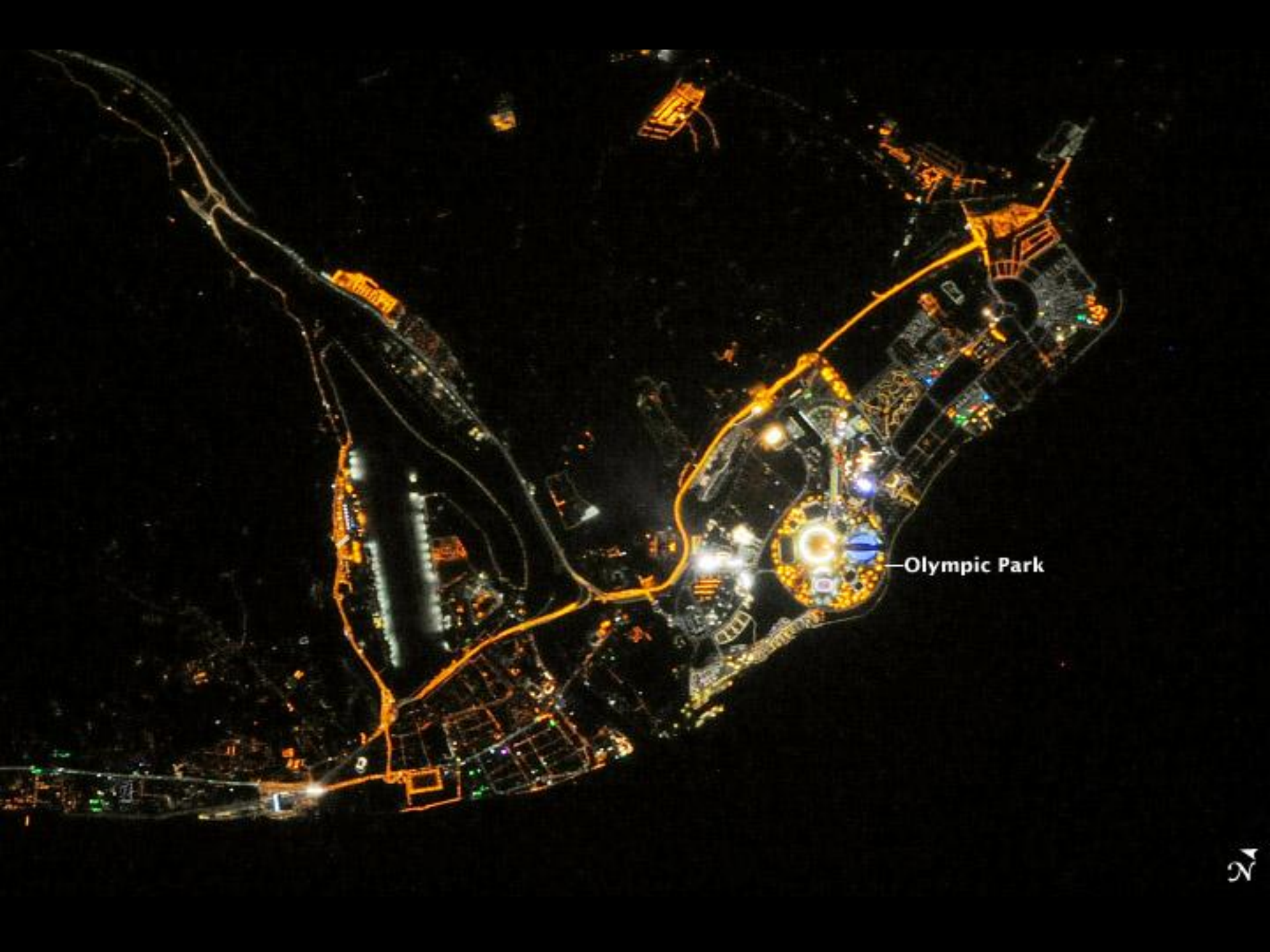
Table 2. The Earth's Heat Budget^a

Component	1972–2008	1993–2008
Shallow ocean (0–700m)	112.6	45.9
Deep ocean (700–3000m)	49.7	20.7
Abyssal ocean (3000m–bottom)	30.7	12.8
Total ocean storage	193.0^b	79.4
Glaciers (Latent only)	3.0	1.7
Antarctica (Latent only)	1.4	0.8
Greenland (Latent only)	0.7	0.6
Sea ice	2.5	1.0
Continents	4.7	2.0
Atmosphere	2.0	1.2
Total other storage	14.2	7.3
Total storage	207.2	86.7
Solar + Ozone + well-mixed GHGs	1461.7	709.6
Energy consumption	13.0	6.5
Volcanic (GISS)	–207.8	–14.6
Outgoing radiation	–343.4	–199.3
Total forcing	923.6	502.2
Total forcing – Total storage	716.4	415.5

^aThe integrated changes in the heat storage and the radiative forcing are in units of 10^{+21} J. The total forcing minus the total storage is the amount of energy that must be balanced by the aerosol cooling (or other climate

Выводы

- Изменения Климата приводят к изменениям в океане, атмосфере, что через обмен моментом импульса может передаваться вращению Земли
- Перераспределение масс ледников может влиять на тензор инерции Земли. Вероятным результатом послеледникового поднятия и потепления является тренд в движение полюса в форме “Клюшки”
- После снятия тренда потепления, ССА глобальной температуры и уровня моря показывают сходные 60, 20 и 10 – летние колебания
- 60-летние изменения температуры и уровня моря коррелированы со скоростью вращения Земли и Атлантическим декадным колебанием
- Чандлеровское возбуждение имеет амплитудную модуляцию, сходную с 20-летними компонентами уровня моря и температур и синхронную с 18.6-летним циклом регрессии узлов орбиты Луны
- Возможно, роль астрономических факторов, к примеру, 18.6-летнего цикла прилива недооценена. Луна может быть ответственна за изменения атмосферной и океанической циркуляции и косвенно влиять на вращение Земли и Климат.
- Большое число факторов и нелинейность затрудняет моделирование климата и вращения Земли.



Olympic Park



P. Brueghel the Yonger *Landscape with a Bird Trap* (1565), Tokyo museum of Western art