

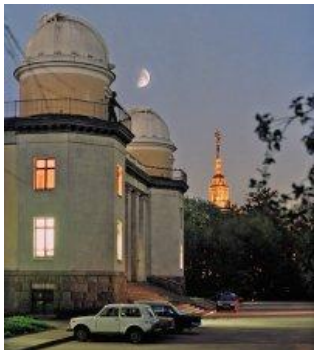
Системный анализ динамики природных процессов в российской Арктике

V Всероссийская школа молодых учёных

22–24 сентября 2025 г.

г. Москва

Могут ли данные космической гравиметрии
GRACE и GRACE-FO объяснить аномалии
вращения Земли последних лет?



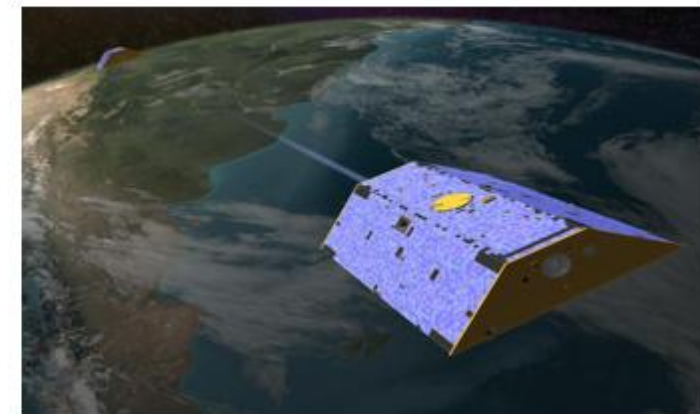
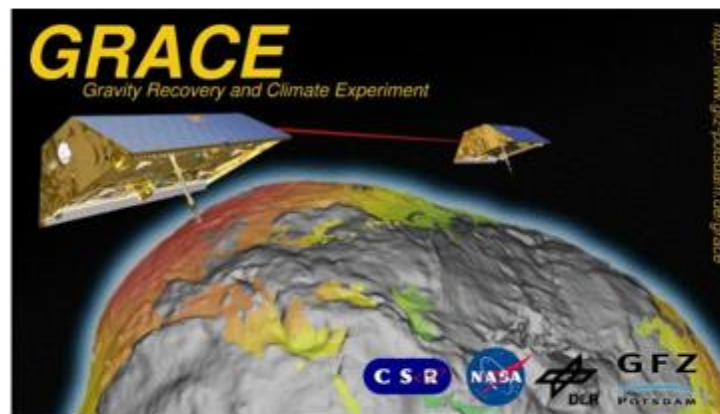
Леонид Зотов^{1,2}

¹ГАИШ МГУ ²МИЭМ НИУ ВШЭ



Гравиметрия

GRACE и GFO



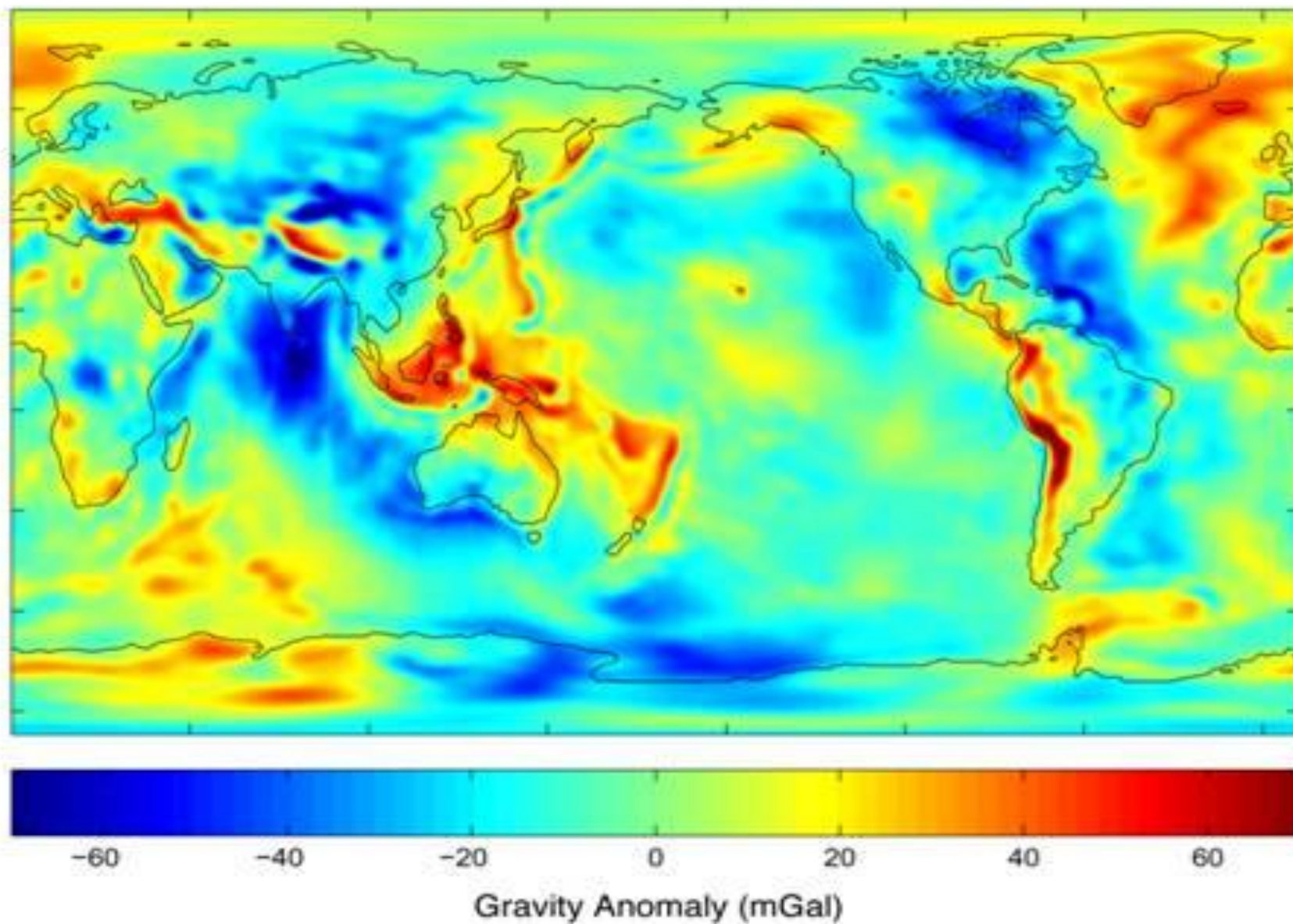
GRACE — совместная спутниковая миссия NASA и DLR, направленная на изучение гравитационного поля Земли и его временных вариаций.

Запущенные в 2002 г. спутники GRACE картографируют гравитационное поле, измеряя положение двух идентичных спутников, находящихся на полярной орбите на высоте 500 км.

GRACE прекратил работу в 2017 году.

В 2018 году были запущены 2 новых спутника, GRACE-FO, которые позволяют производить измерения с более высокой точностью.

Гравитационное поле Земли GGM03s

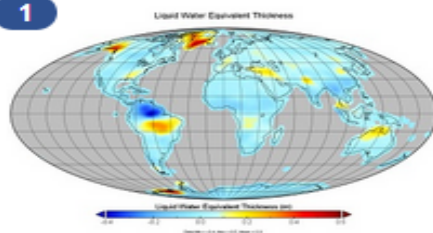


Prev

1

Next

1



JPL TELLUS GRACE-FO Level-3 Monthly Land Water-Equivalent-Thickness Surface-Mass Anomaly Release 6.0 in netCDF/ASCII/GeoTIFF Formats

(TELLUS_GRFO_L3_JPL_RL06_LND)

Ocean Pressure, GRAVITY/GRAVITATIONAL FIELD

Platform/Sensor: GRACE-FO/GRACE-FO ACC , GRACE-FO/GRACE-FO KBR , GRACE-FO/GRACE-FO SCA

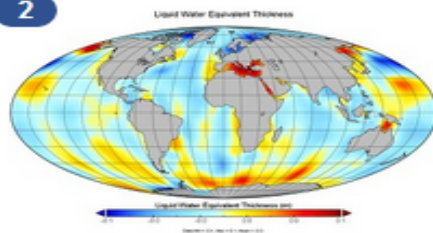
Processing Level: 3

Longitude/Latitude Resolution: 1 degrees x 1 degrees

Start/End Date: 2018-May-22 to Present

Description: The JPL monthly land mass grids contain land water mass anomaly given as equivalent water thickness derived from GRACE time-variable gravity observations during the specified timespan ... [more](#)

2



CSR TELLUS GRACE-FO Level-3 Monthly Ocean Bottom Pressure Anomaly Release 6.0 version 02 in netCDF/ASCII/GeoTIFF Formats

(TELLUS_GRFO_L3_CSR_RL06_OCN_v02)

GRAVITY/GRAVITATIONAL FIELD, OCEAN PRESSURE

Platform/Sensor: GRACE-FO/GRACE-FO ACC , GRACE-FO/GRACE-FO KBR , GRACE-FO/GRACE-FO SCA

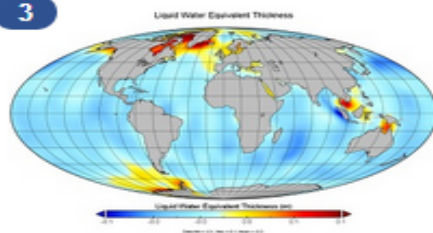
Processing Level: 3

Longitude/Latitude Resolution: 1 degrees x 1 degrees

Start/End Date: 2018-May-22 to Present

Description: The CSR monthly ocean bottom pressure grids are given as equivalent water thickness changes derived from GRACE-FO time-variable gravity observations during the specified timespan in ... [more](#)

3



JPL TELLUS GRACE-FO Level-3 Monthly Ocean Bottom Pressure Anomaly Release 6.0 version 02 in netCDF/ASCII/GeoTIFF Formats

(TELLUS_GRFO_L3_JPL_RL06_OCN_v02)

GRAVITY/GRAVITATIONAL FIELD, OCEAN PRESSURE

Platform/Sensor: GRACE-FO/GRACE-FO ACC , GRACE-FO/GRACE-FO KBR , GRACE-FO/GRACE-FO SCA

Processing Level: 3

Longitude/Latitude Resolution: 1 degrees x 1 degrees

Start/End Date: 2018-May-22 to Present

Description: The JPL monthly ocean bottom pressure grids are given as equivalent water thickness changes derived from GRACE-FO time-variable gravity observations during the specified timespan in ... [more](#)

Обработка данных GRACE

Мы используем данные L2 релиза 6.3, обработанные JPL в виде ежемесячных файлов с коэффициентами Стокса разложения гравитационного поля Земли C и S до 60-й степени порядка

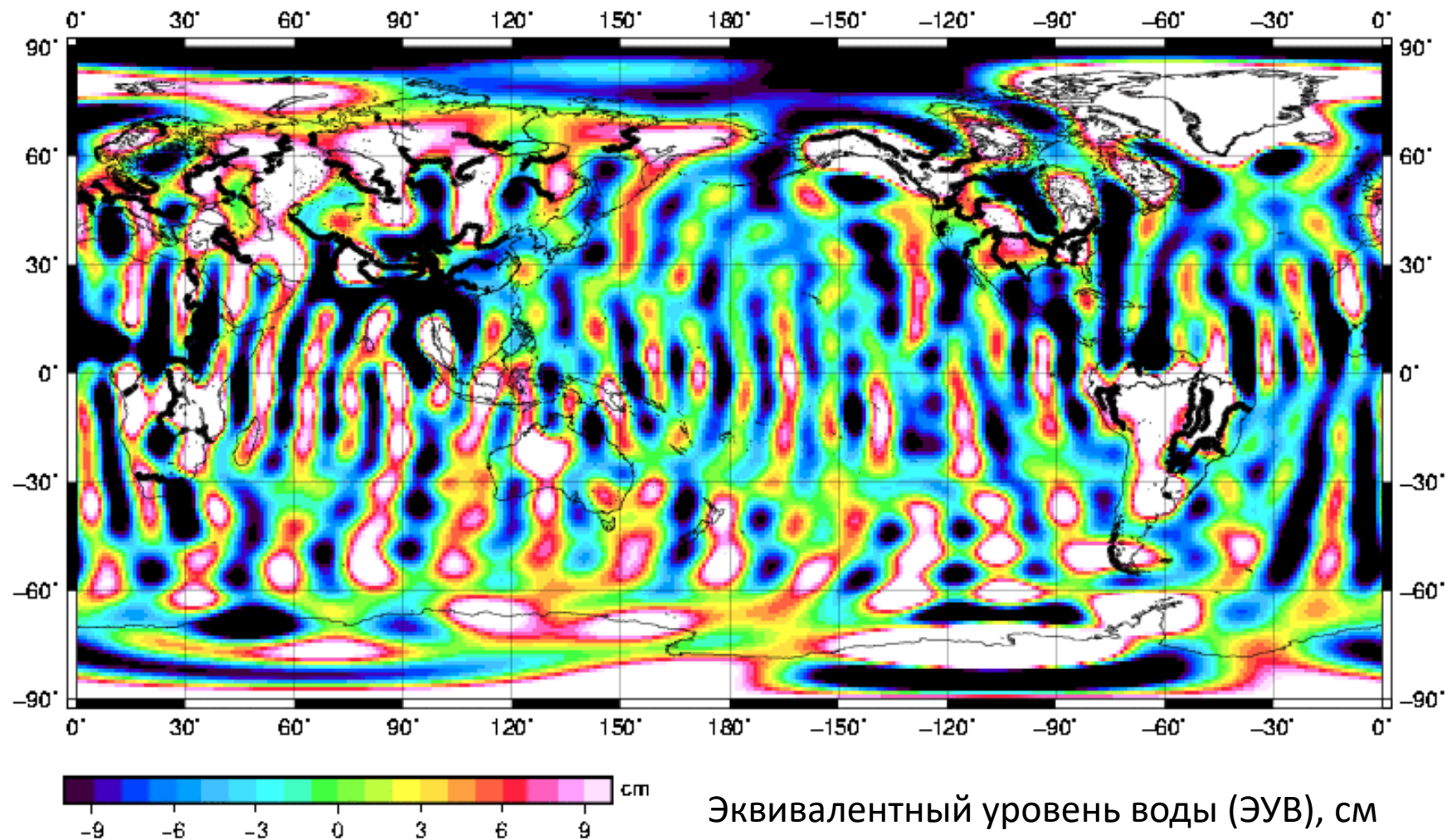
$$V(\varphi, \lambda, r) = \frac{GM}{r} \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r}\right)^n (\bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) P_n^m(\sin \varphi),$$

Аномалии гравитационного поля переводятся в значения эквивалентного уровня воды (ЭУВ) плоского слоя

$$\Delta h(\varphi, \lambda, t) = \frac{a \rho_{ave}}{3 \rho_w} \sum_{n=2}^{60} \sum_{m=0}^n \frac{2n+1}{1+k_n} W_n (\Delta C_{nm}(t) \cos m\lambda + \Delta S_{nm}(t) \sin m\lambda) P_n^m(\sin \varphi)$$

Исходные данные GRACE JPL RL06 Уровня 2

init 04/2002



Многоканальный сингулярный спектральный анализ

1) Параметр задержки (лага) L

МССА- обобщение МГК

Многоканальный сигнала

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$$

вкладывается в траекторную матрицу X

2) SVD — сингулярное разложение матрицы

1D-ССА – “Гусеница”

$$X = USV^T$$

3) Для каждого сингулярного числа s_i восстанавливается матрица

$$X^i = s_i u_i v_i^T,$$

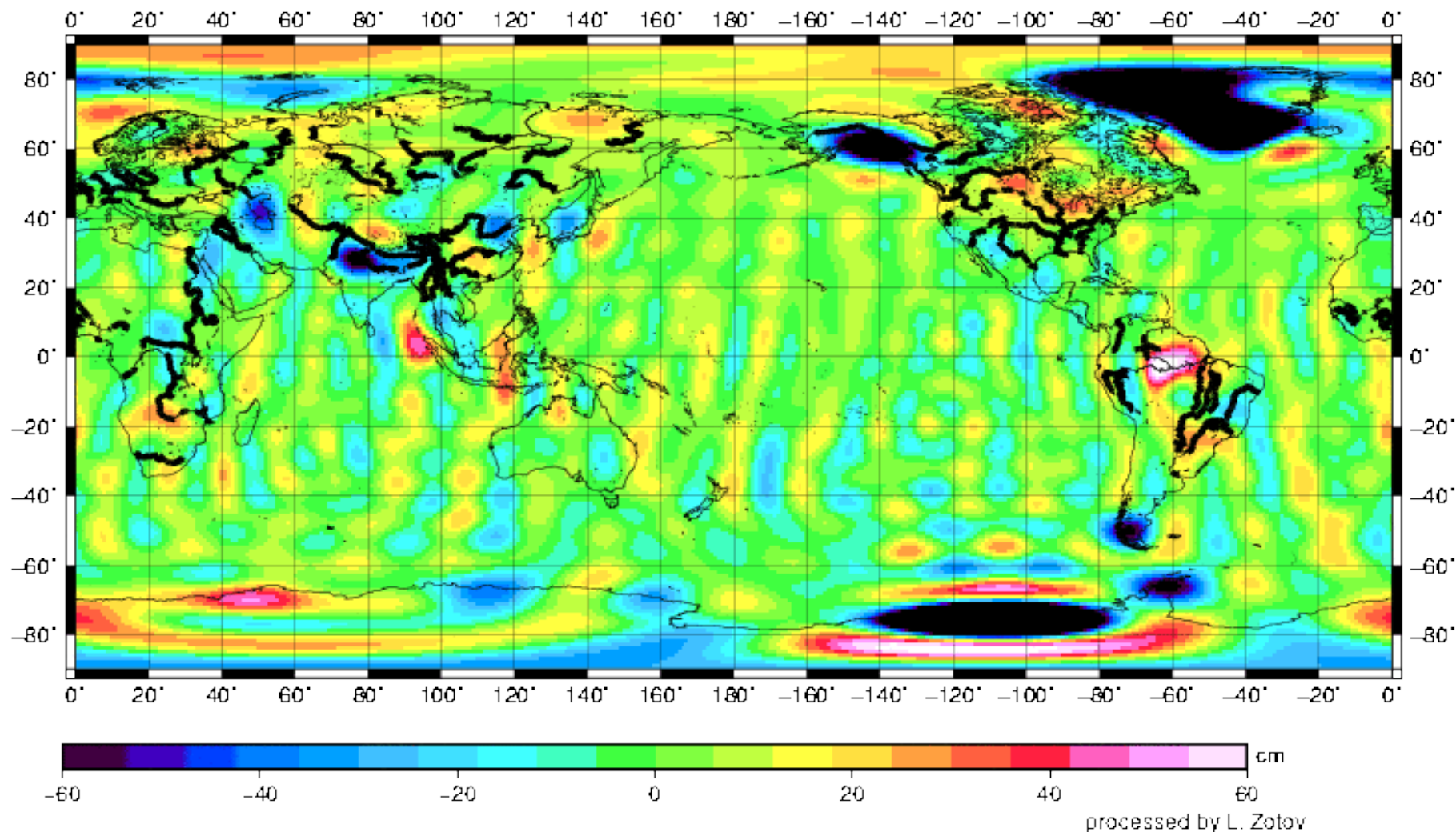
И усреднением вдоль побочных диагоналей (Генкелизацией) восстанавливается компонента сигнала

4) Сходные сигналы группируются в Главные Компоненты (Principal Components)

PC1, PC2, PC3...

Тренды перераспределения масс в данных миссии GRACE

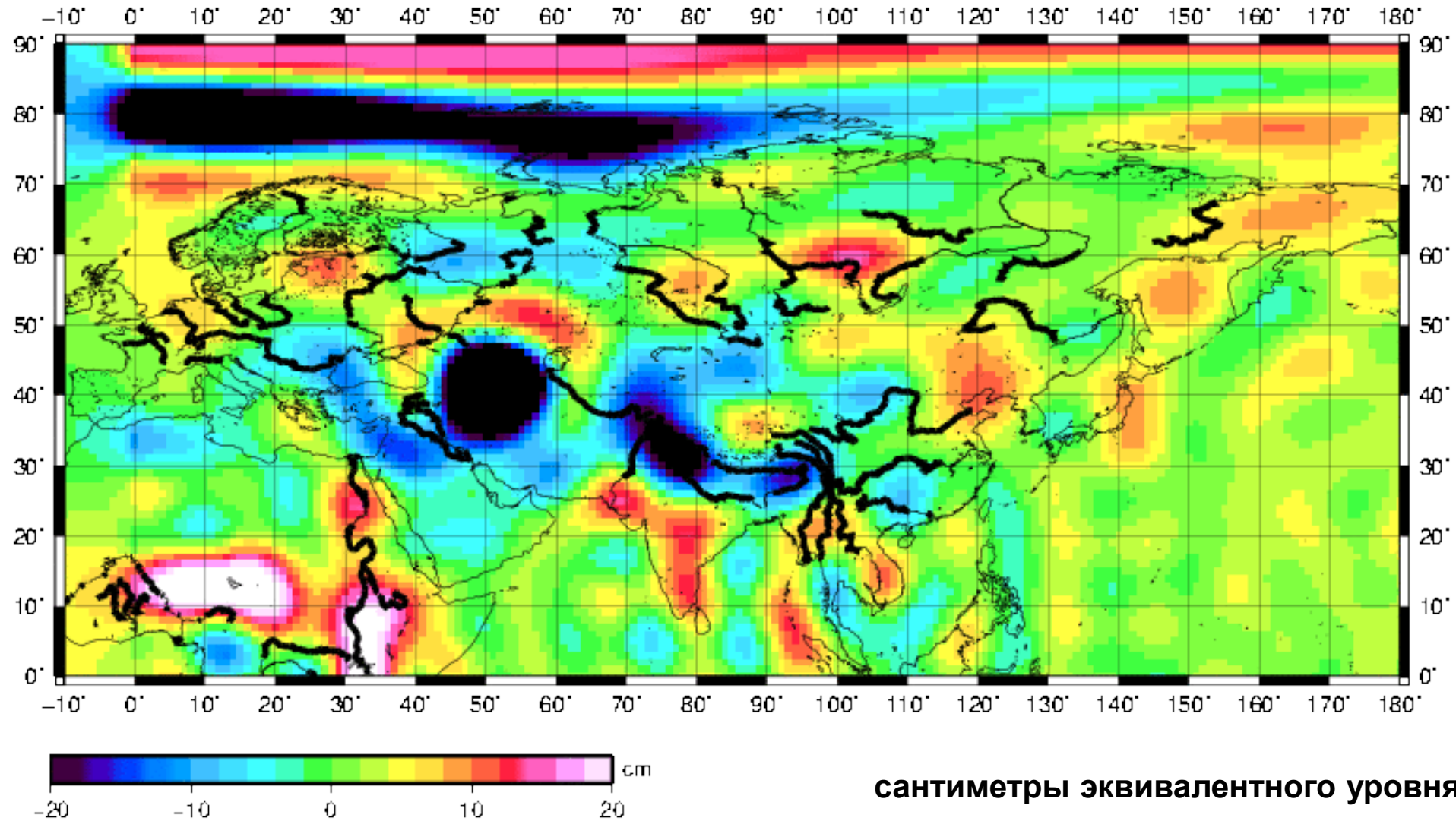
2017-2003 RL 06



Изменения масс вследствие климатических и других факторов

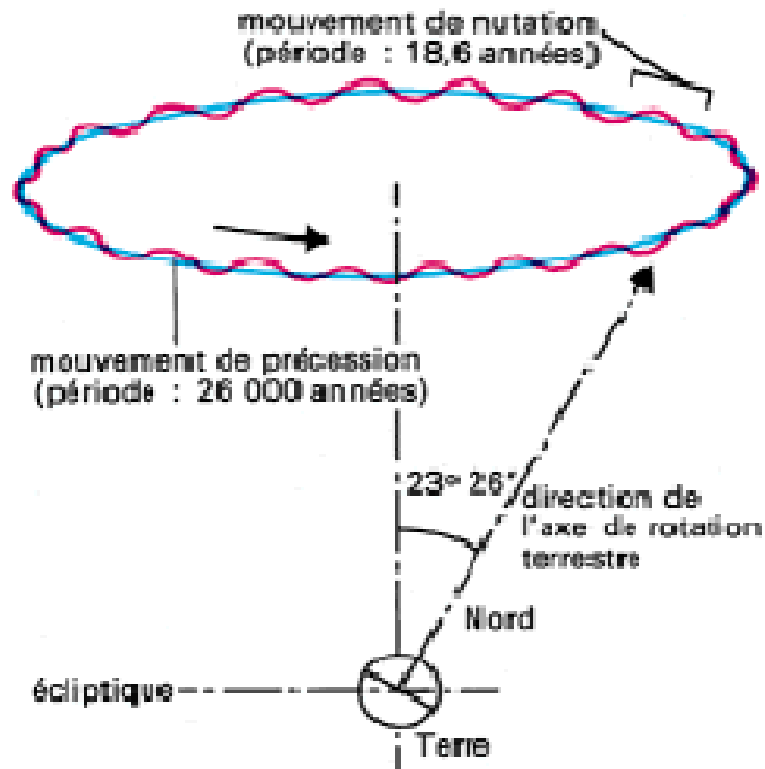
Тренды перераспределения масс Евразии по GRACE-FO

2025-2018

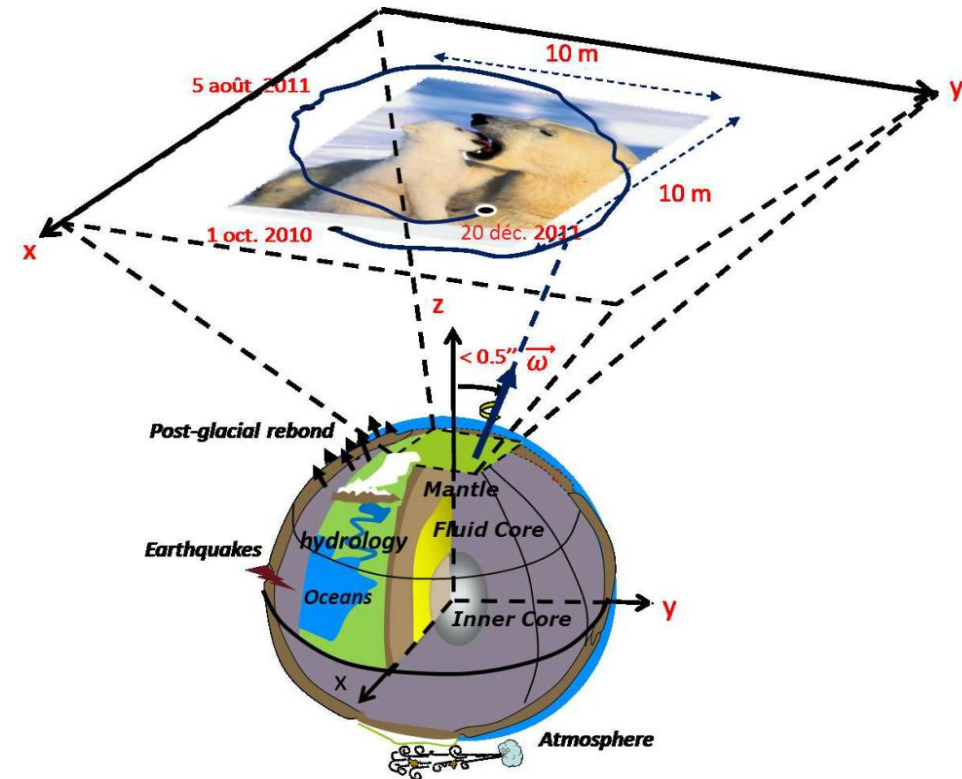


Нутация и движение полюса

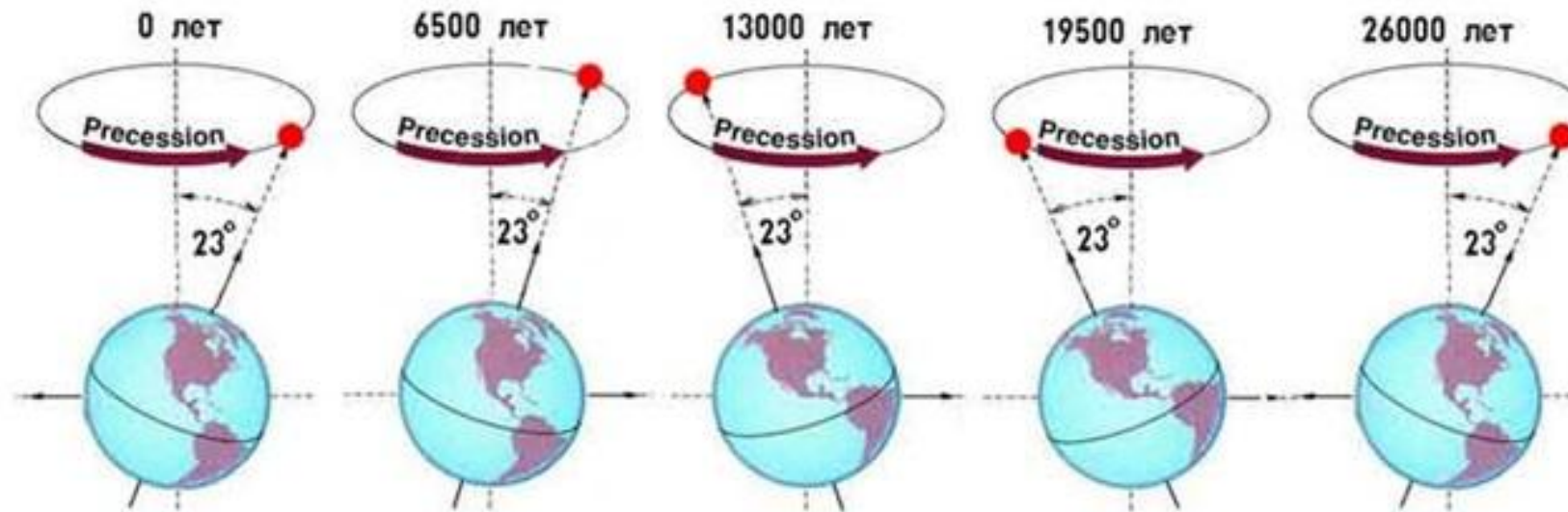
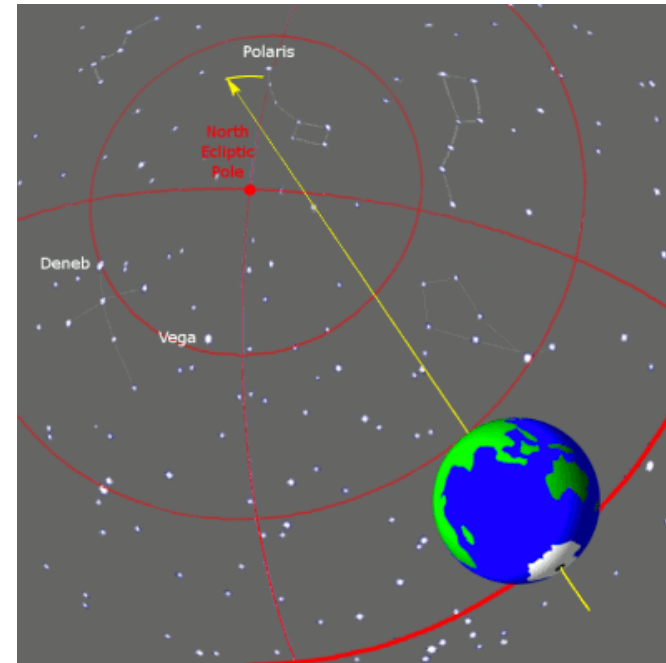
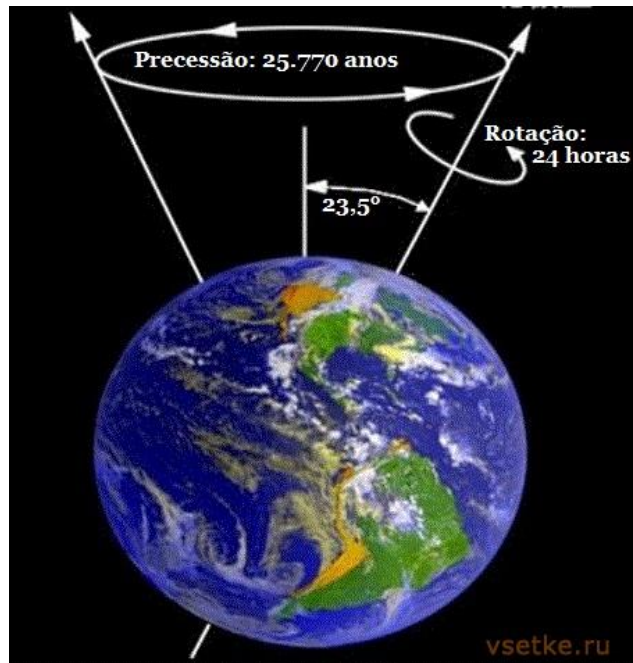
Прецессия (вековая) и нутация (периодическая) земной оси с периодами 25 700, 18.6, 1, 0.5 лет, обусловленные внешним моментом сил от Луны и Солнца



Движение полюса амплитудой до 10 метров обусловленное геофизическими процессами – обменом угловым моментом между океаном, атмосферой и твердой землей



Прецессия и нутация происходят под действием Луны и Солнца



Некоторые элементы теории движения полюса

$$\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} + (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{H}) = \mathbf{A},$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{I}\boldsymbol{\omega} + \mathbf{h}.$$

Уравнение для углового момента
в неподвижной в подвижной

$$\left(\frac{d\mathbf{H}}{dt}\right)_S = \mathbf{L}, \quad \frac{d\mathbf{H}}{dt} + \boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{H} = \mathbf{\Gamma},$$

системах координат

Тензор инерции

$$\mathbf{I} + \delta\mathbf{I} = \begin{bmatrix} A + c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & B + c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & C + c_{33} \end{bmatrix}.$$

Вектор угловой скорости

$$\boldsymbol{\omega}_0 + \delta\boldsymbol{\omega} = \Omega \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ 1 + m_3 \end{bmatrix}.$$

$$\frac{d\omega_1}{dt} + \frac{I_3 - I_2}{I_1} \omega_2 \omega_3 = 0,$$

$$\frac{d\omega_2}{dt} + \frac{I_1 - I_3}{I_2} \omega_3 \omega_1 = 0,$$

$$\frac{d\omega_3}{dt} + \frac{I_2 - I_1}{I_3} \omega_1 \omega_2 = 0.$$

Комплексное линеаризованное
уравнение Эйлера-Лиувилля

$$\frac{i}{\sigma_e} \dot{m} + m = \Psi, \quad \dot{m}_3 = \dot{\Psi}_3,$$

$$\Psi = \Psi_1 + i\Psi_2$$

$$m = m_1 + im_2, \quad c = c_{13} + ic_{23},$$

$$h = \dot{c}_{13} + i\dot{c}_{23}$$

Возбуждающие функции

$$\Psi_1 = \frac{1}{\Omega^2(C - A)} \left(\Omega^2 c_{13} + \Omega \dot{c}_{23} + \dot{h}_2 + \Omega h_1 - \Lambda_2 \right),$$

$$\Psi_2 = \frac{1}{\Omega^2(C - A)} \left(\Omega^2 c_{23} - \Omega \dot{c}_{13} - \dot{h}_1 + \Omega h_2 + \Lambda_1 \right),$$

$$\Psi_3 = \frac{1}{\Omega^2 C} \left(-\Omega^2 c_{33} - \Omega \dot{h}_3 + \Omega \int_0^t \Lambda_3 dt \right).$$

$$\frac{d\omega_1}{dt} = -\sigma_e \omega_2, \quad \frac{d\omega_2}{dt} = \sigma_e \omega_1, \quad \sigma_e = \Omega \frac{C - \frac{A+B}{2}}{\frac{A+B}{2}}.$$

частота Эйлера

комплексная Чандлеровская частота

$$\sigma_c = \sigma_e \frac{(1 - \frac{k_2}{k_s})}{(1 + e^{\frac{k_2}{k_s}})} = 2\pi f_c \left(1 + \frac{i}{2Q} \right).$$

период T=433 сут f_c=365.25/433 колебаний в год

запись через комплексную
функцию углового момента

$$\chi = \frac{c}{(C - A)} + \frac{h}{\Omega(C - A)},$$

$$m = p - \frac{i}{\Omega} \dot{p}, \quad \frac{i}{\sigma_e} \dot{p} + p = \chi^{mass} + \chi^{motion} = \chi.$$

$$\chi_e^{mass} = \frac{1 + k'_2}{1 - \tilde{k}_2/k_s} \chi^{mass}, \quad \chi_e^{motion} = \frac{1}{1 - \tilde{k}_2/k_s} \chi^{motion}.$$

Геодезическое
возбуждение

Геофизическое
возбуждение

$$\frac{i}{\sigma_e} \frac{dp(t)}{dt} + p(t) = \chi^{tot}(t),$$

Параметры ориентации Земли

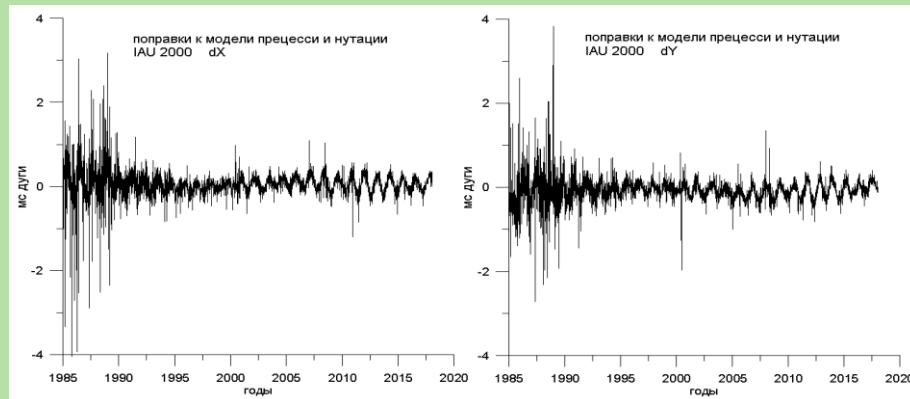
x, y координаты полюса

UT1-UTC

dX, dY

$$\theta(t) - \theta(t_0) = \Omega UT1 - \Omega t_0.$$

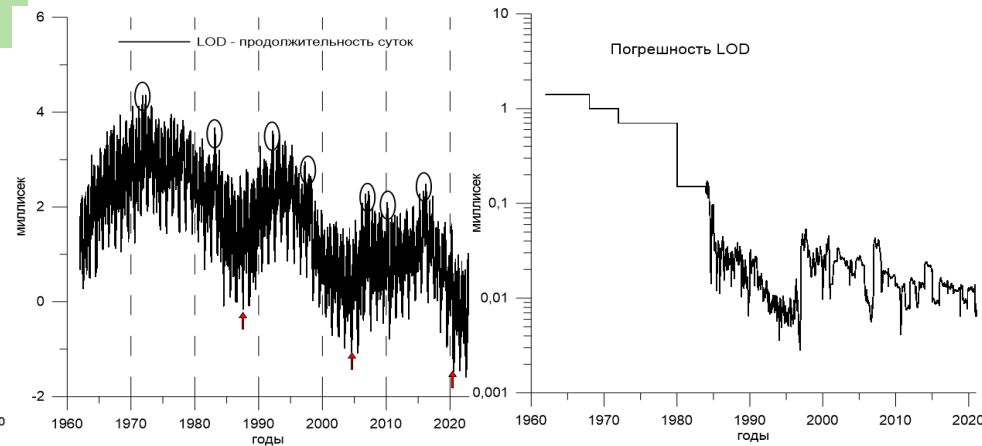
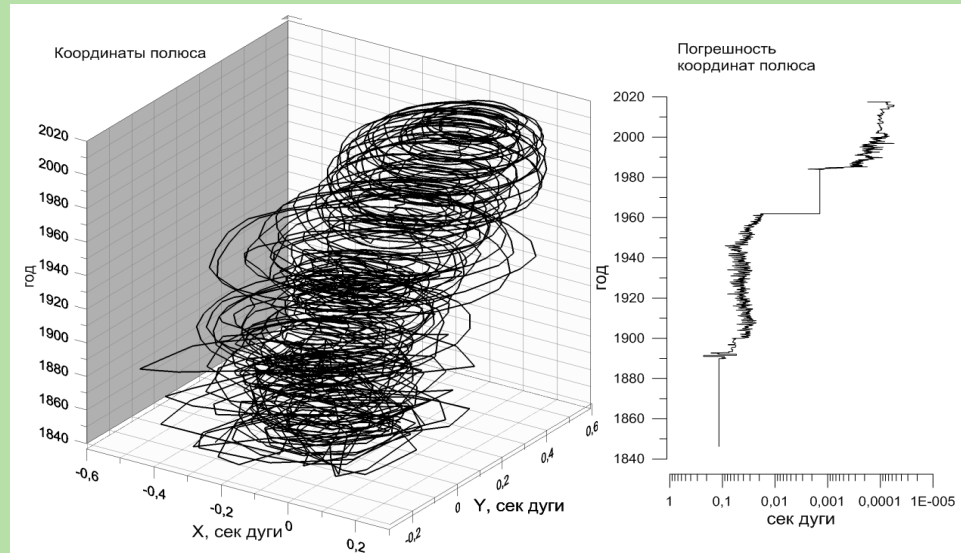
$$\Delta LOD = \frac{2\pi \cdot k}{\Omega(1 + m_3)} - \frac{2\pi \cdot k}{\Omega} \approx -\overline{LOD}m_3,$$



Поправки к углам прецессии и нутации

x, y координаты полюса

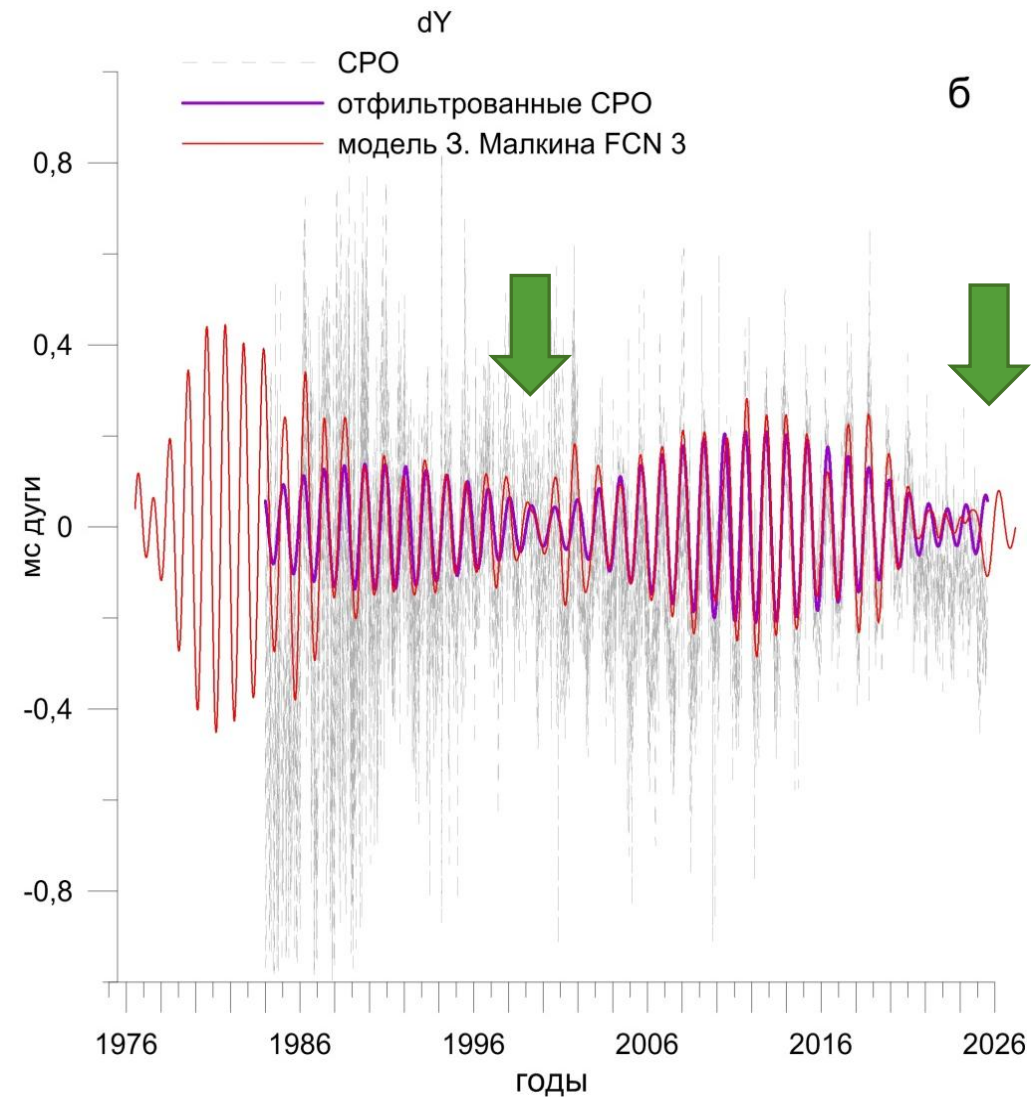
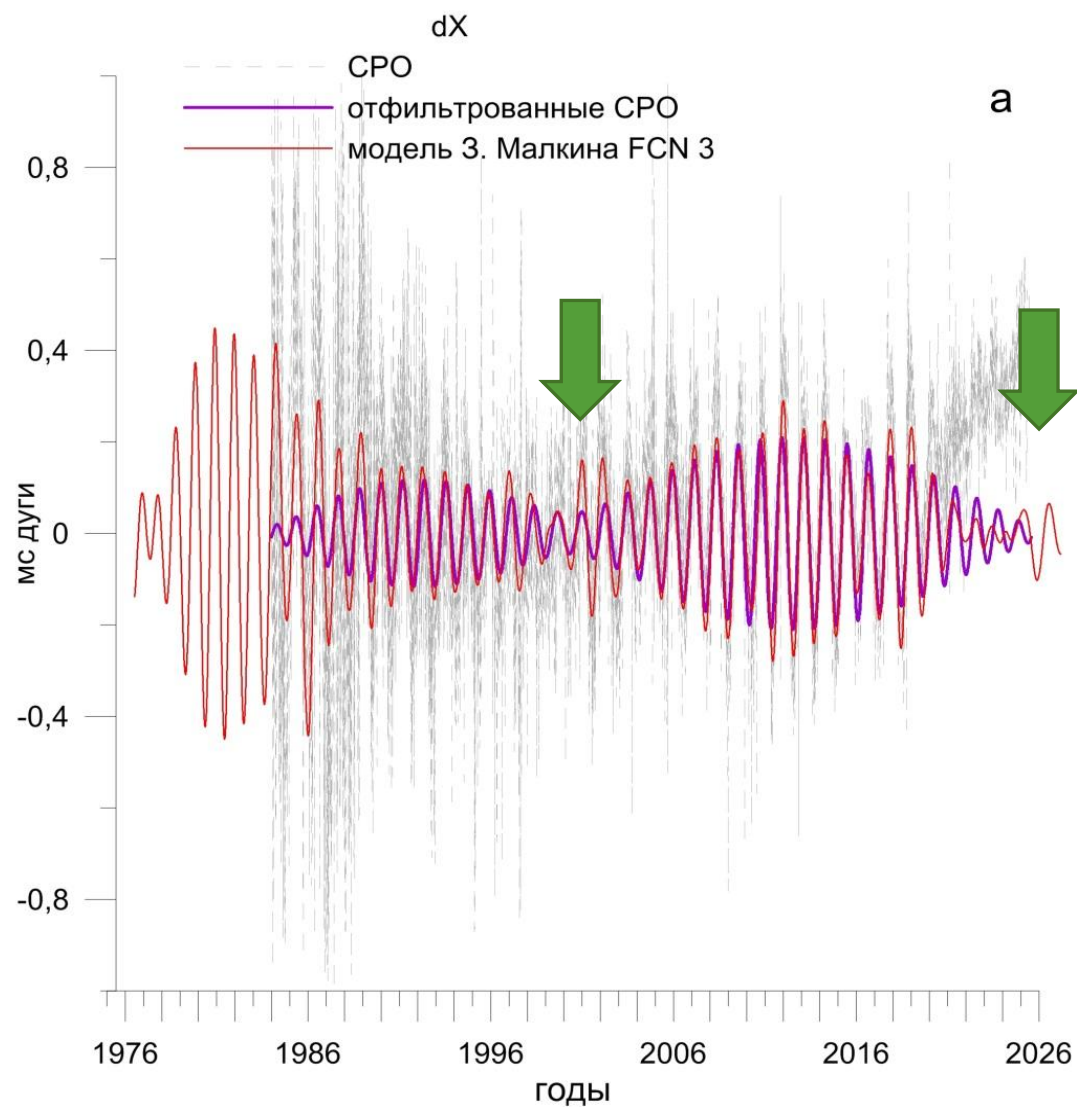
возрастание точности



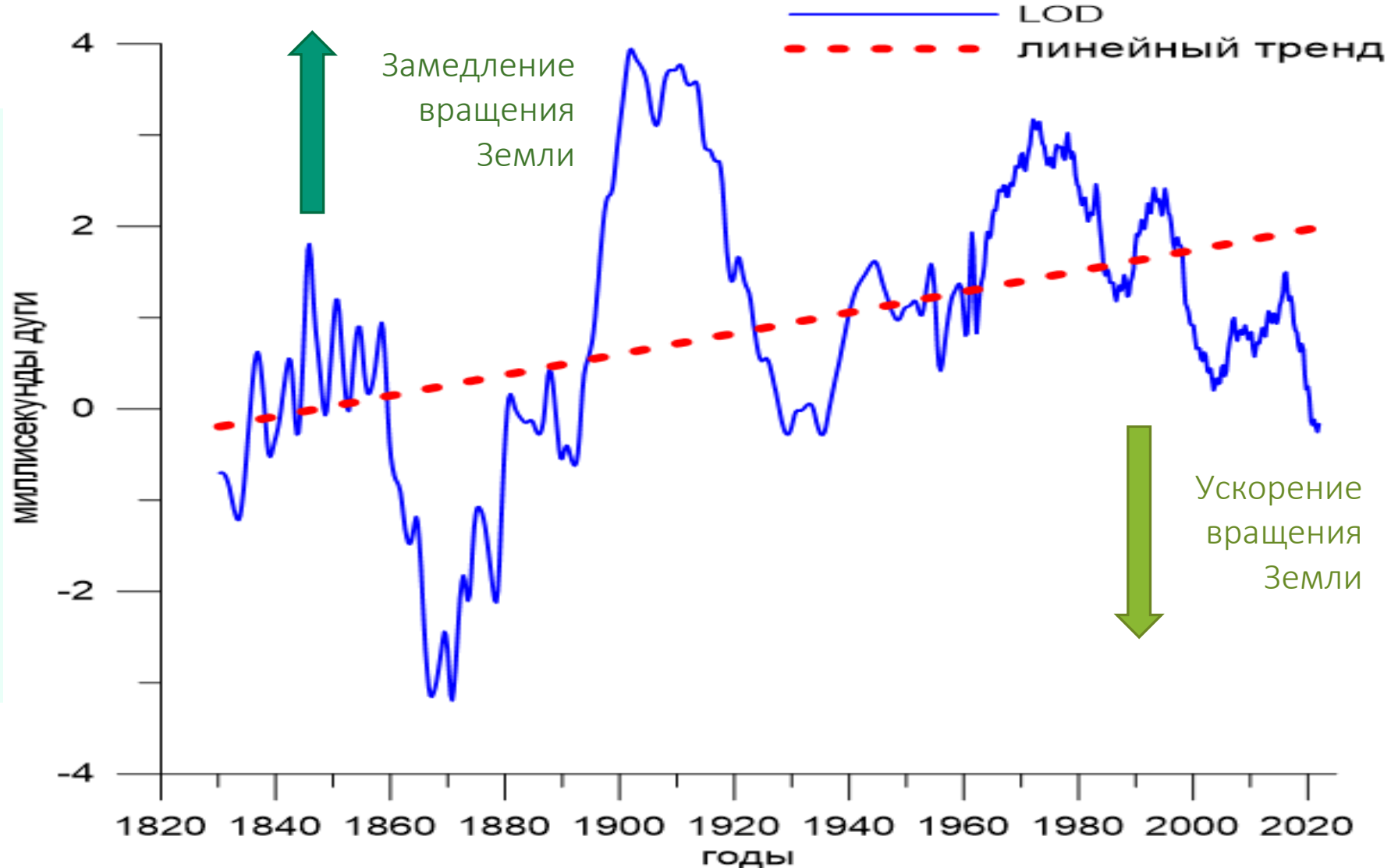
длительность суток
LOD

точность
наблюдений

Ослабление сигнала свободной нутации ядра FCN

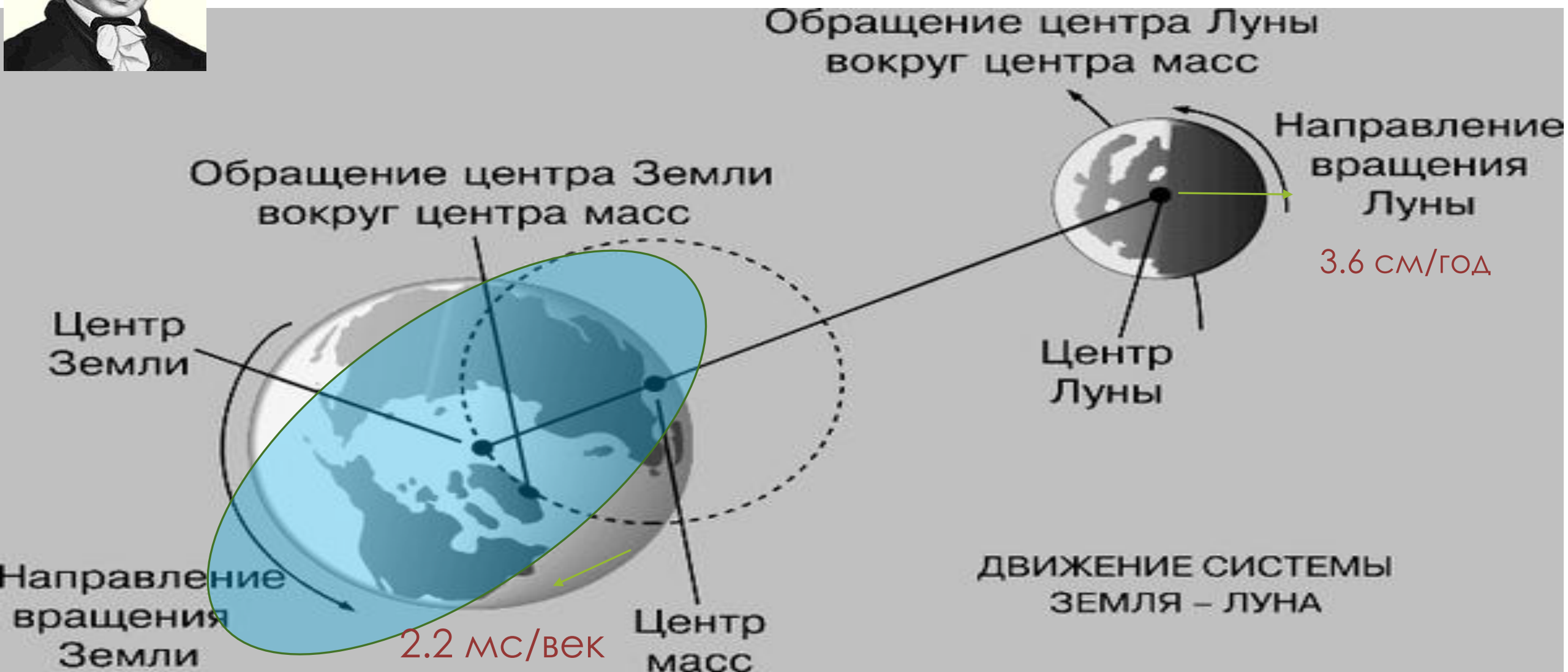


Долговременные изменения длительности суток Length of Day LOD





Иммануил Кант предсказал
торможение Земли в 1754 г



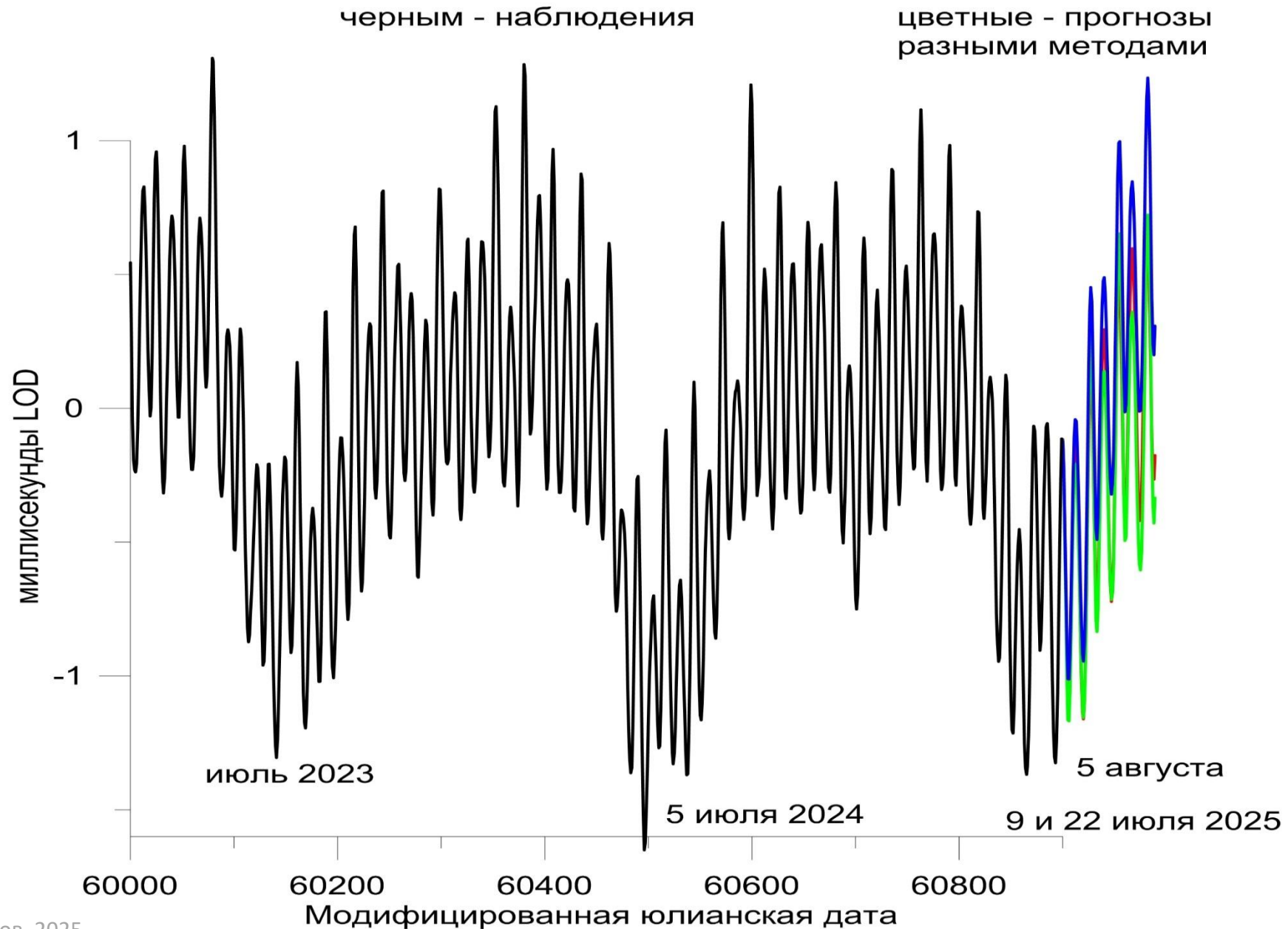
Геофизические процессы, влияющие на вращение Земли

от 1 до 1 000 000 лет



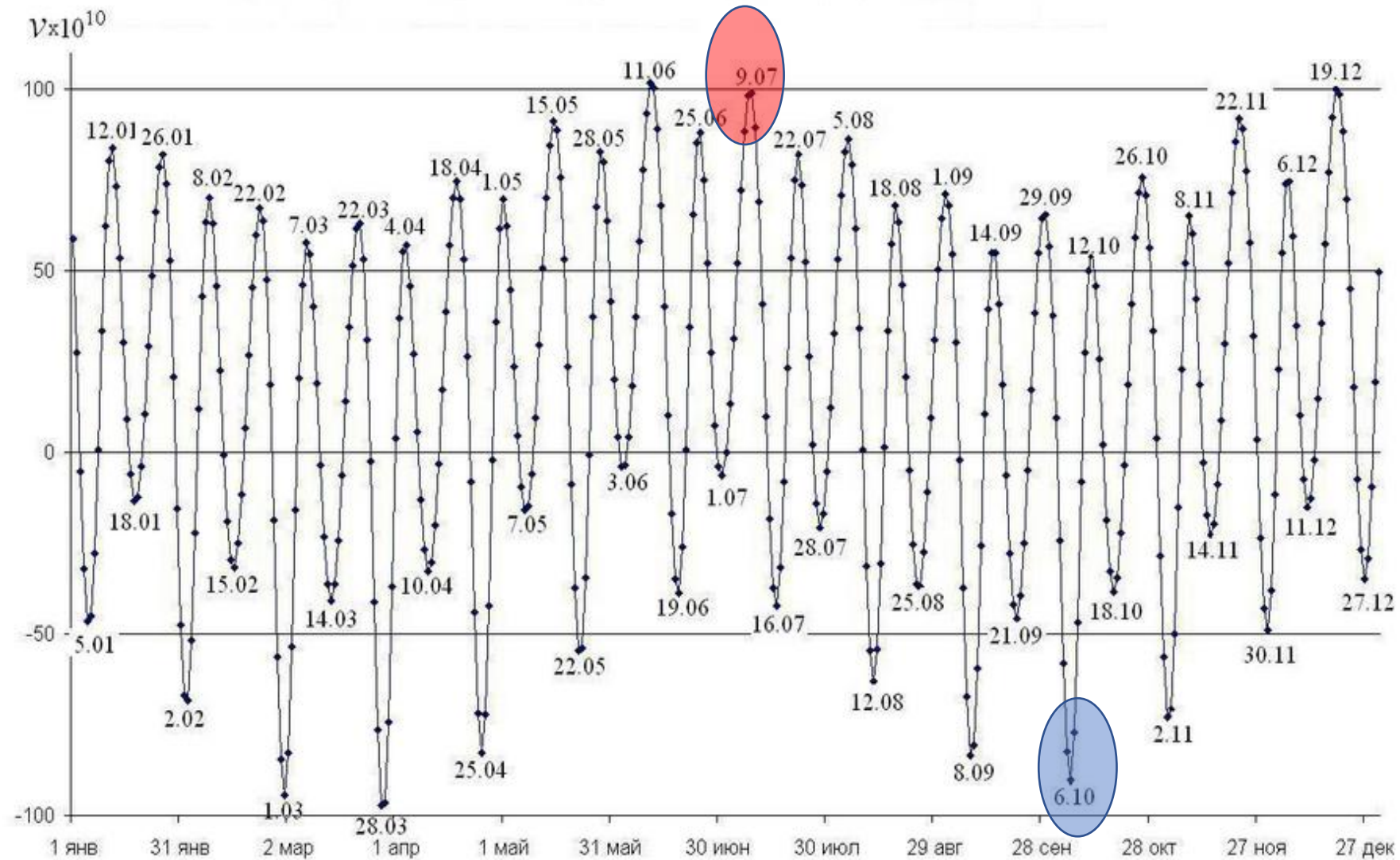
credit: C. Bizouard

Вращение Земли летом 2025 года



ГЕОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ПОГОДА

Приливные колебания угловой скорости вращения Земли в 2025 г.





Home / News / Astronomy News / Earth Will Spin Unusually Fast Again in 2025

Earth Will Spin Unusually Fast Again in 2025

Since 2020, Earth has notched up unprecedented gains in day length, and it's set to do so again in 2025 around July 9, July 22, and August 5, notes Leonid Zotov.



By [Graham Jones](#)

Published 16-Jun-2025. Changed 11-Jul-2025



Latest estimates from mid-August confirm that **the shortest days of 2025** fell around July 9, July 22, and August 5—but were not quite as short as the shortest day of 2024. “It seems Earth has started to decelerate and the most extreme lengths of day have been left in 2024,” notes Leonid Zotov.

Year	Date	Length of Day (LOD)
2025	July 9	-1.34 ms (to be confirmed)
2025	July 10	-1.37 ms (to be confirmed)
2025	July 22	-0.88 ms (to be confirmed)
2025	August 5	-1.31 ms (to be confirmed)
2025	August 6	-1.32 ms (to be confirmed)

Sources: [timeanddate.com](#), [IERS](#), [USNO](#). Estimates are based on observations and models, and include systematic corrections and smoothing. **Date: August 13, 2025.**

BREAKING | INNOVATION > SCIENCE

Get Ready For Began As Ear

By Jamie Carter, Senior Contributor. (

Published Jun 20, 2025, 05:00am EDT, Update

[Share](#) [Save](#) [Comment](#) 1

TOPLINE

Earth could be about to record its 1
faster than at any point since recor
shortest day. Last year, the shortes
close to this again on or close to Ju



The New York Times

Earth Is Spinning Faster and Getting Shorter, for Now

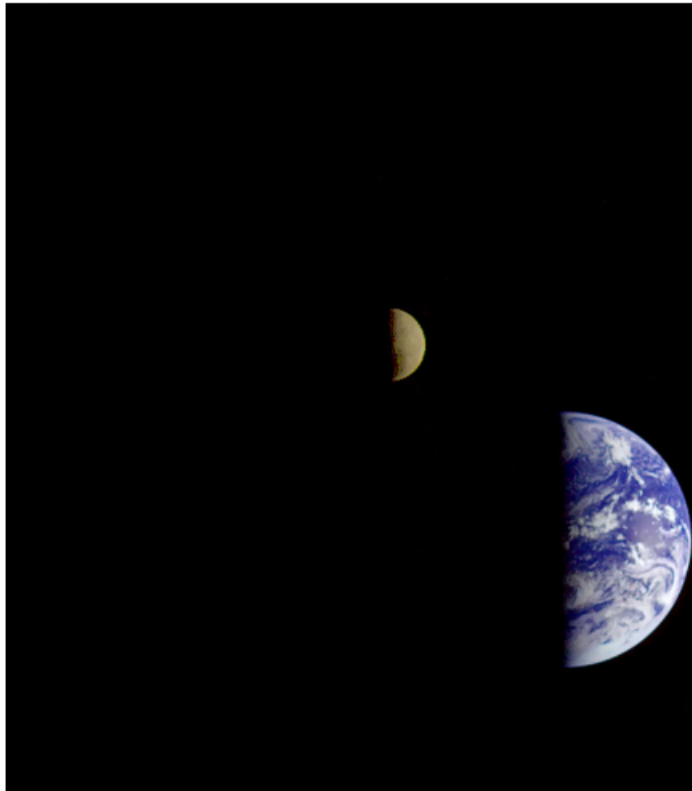
The planet's rotation fluctuates as it travels arou
measurements suggest we're losing more than a
during the long days of summer.



Listen to this article · 4:56 min [Learn more](#)



Share full article



ELLE

Home > Culture > Culture News

JULY 14, 2025

Earth Just Had One Of The Shortest Days Ever And More Are Coming

We're in a spin



Ruby Feneley

 PRINT



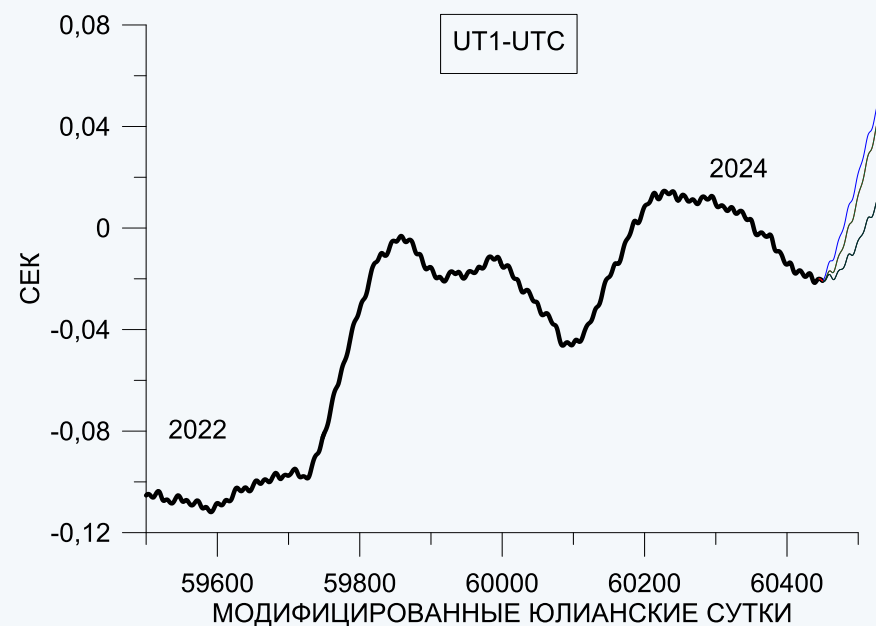
Image: Getty

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ СЕКУНДА - LEAP SECOND

ВВОДИТСЯ ЧТОБЫ РАССОГЛАСОВАНИЕ ШКАЛЫ
ВРЕМЕНИ ИЗМЕРЯЕМОГО ПО ВРАЩЕНИЮ ЗЕМЛИ UT И
ШКАЛЫ ВСЕМИРНОГО АТОМНОГО ВРЕМИНИ UTC
НЕ ПРЕВЫСИЛО 0.9 СЕК

ОБЫЧНО ПРИБАВЛЯЛАСЬ В КОНЦЕ ГОДА К UTC,
НО СЕГОДНЯ ВСТАЛ ВОПРОС О ЕЕ ВЫЧИТАНИИ

2006	Jan.	1	-	2009	Jan.	1	33s
2009	Jan.	1	-	2012	Jul.	1	34s
2012	Jul.	1	-	2015	Jul.	1	35s
2015	Jul.	1	-	2017	Jan.	1	36s
2017	Jan.	1	-				37s



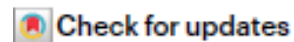
A global timekeeping problem postponed by global warming

<https://doi.org/10.1038/s41586-024-07170-0>

Received: 4 August 2023

Accepted: 6 February 2024

Published online: 27 March 2024

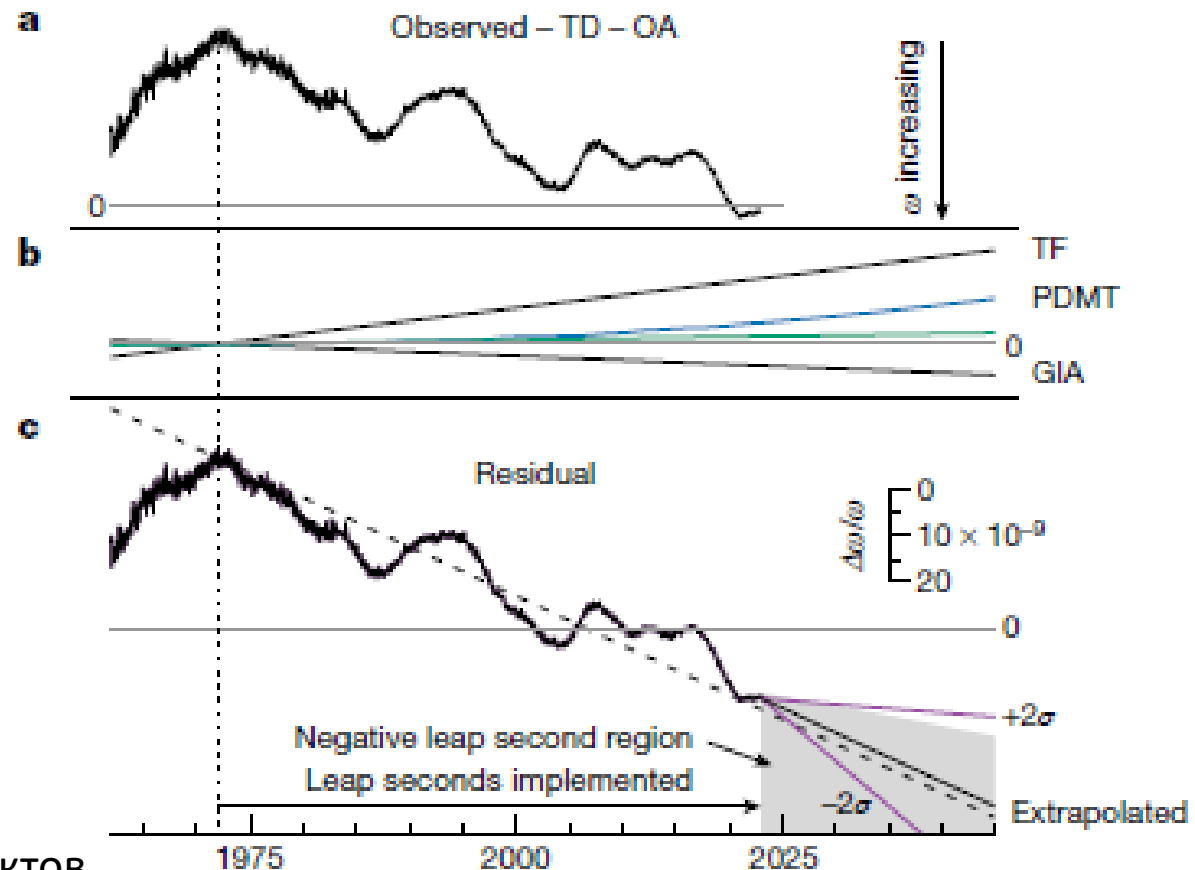


Вверху – кривая LOD
длительности суток

TF – приливное трение
GIA – послеледниковое
поднятие

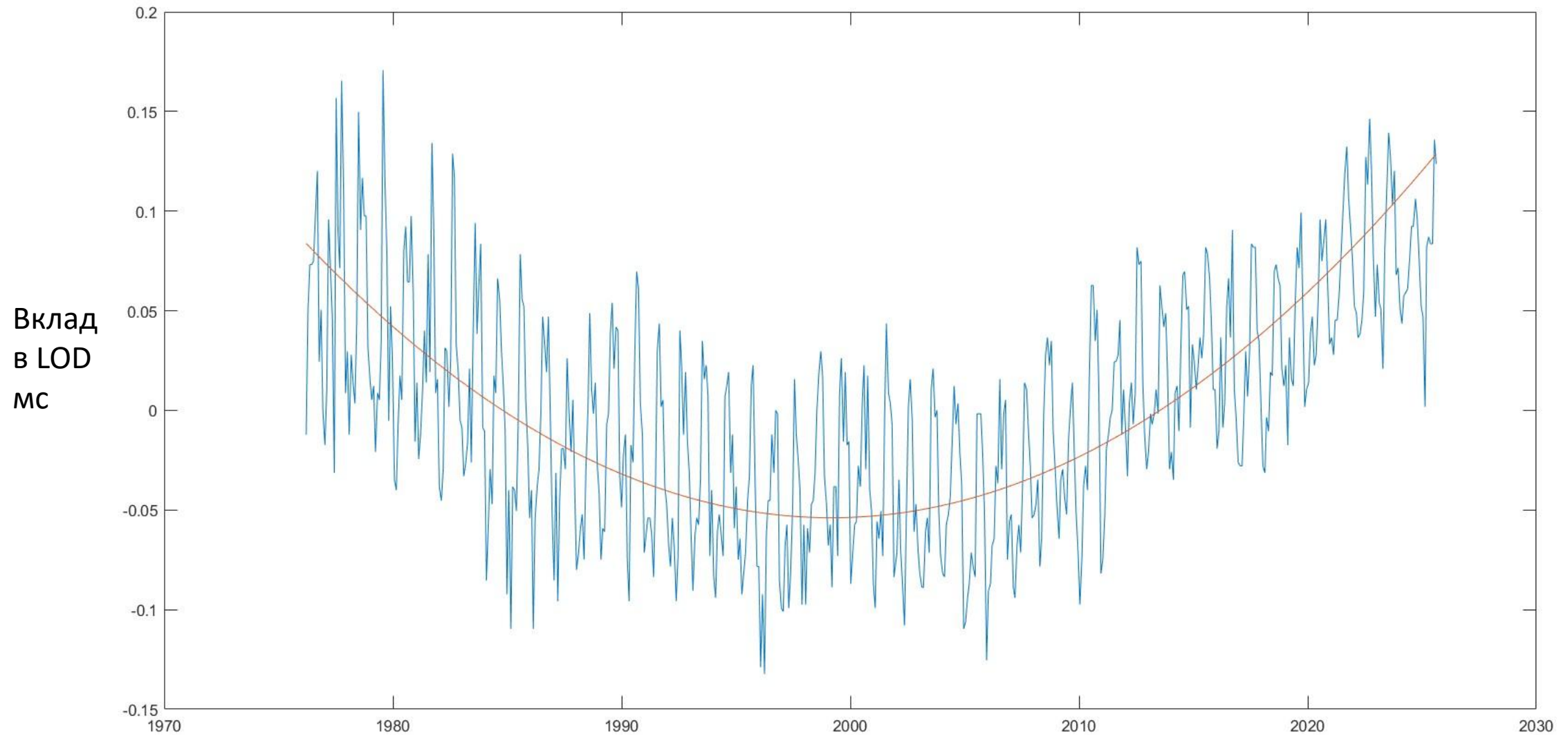
PDMT – перенос масс сегодня

внизу – как шла бы LOD за
вычетом климатических эффектов

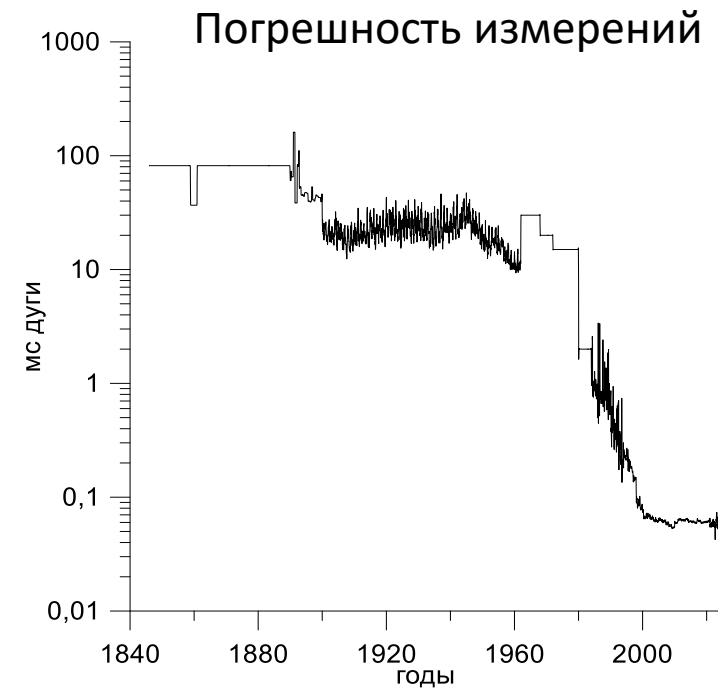
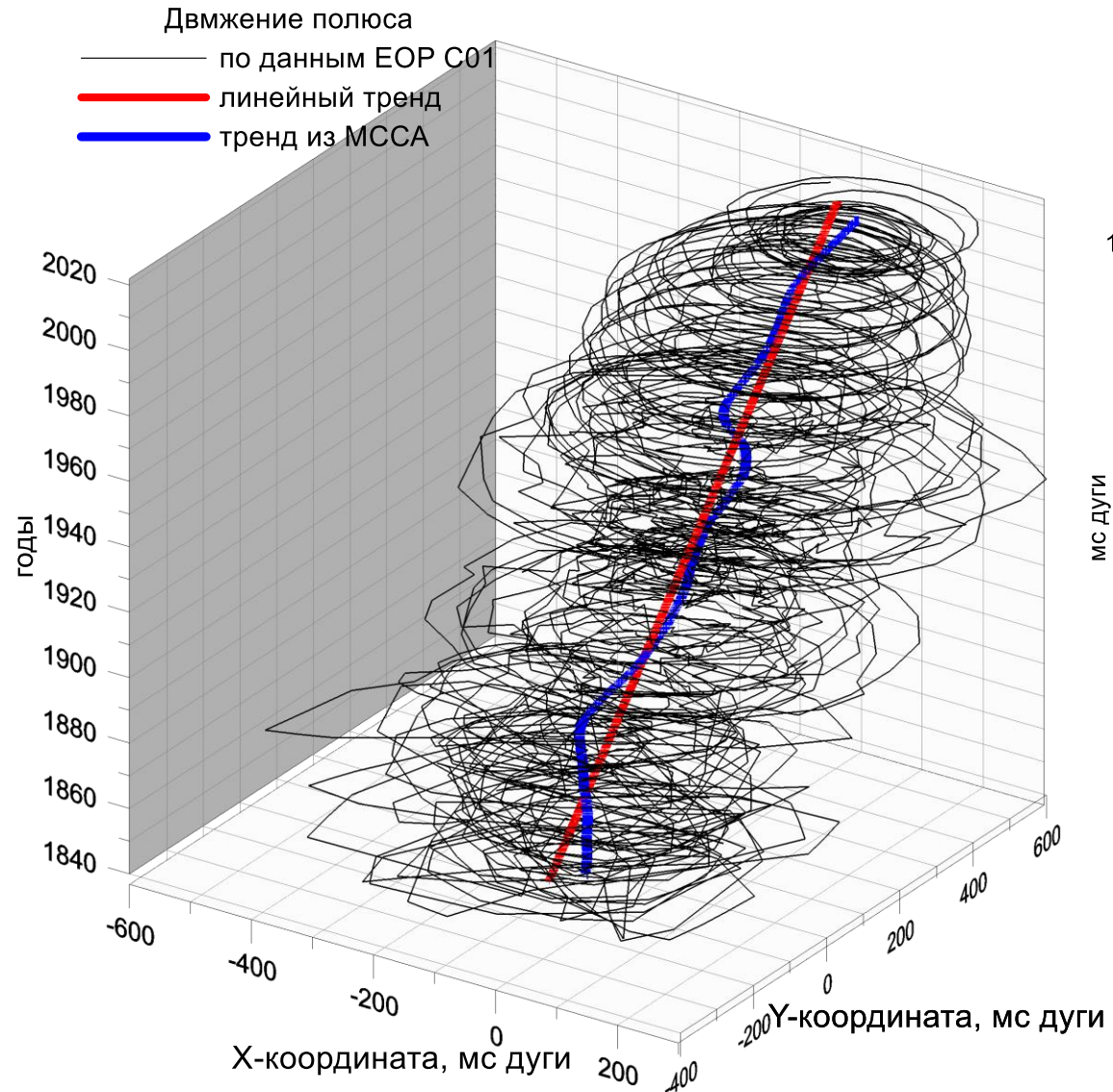


[†]Institute of Geophysics and Planetary Physics, Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego, La Jolla, CA, USA. [✉]e-mail: dagnew@ucsd.edu

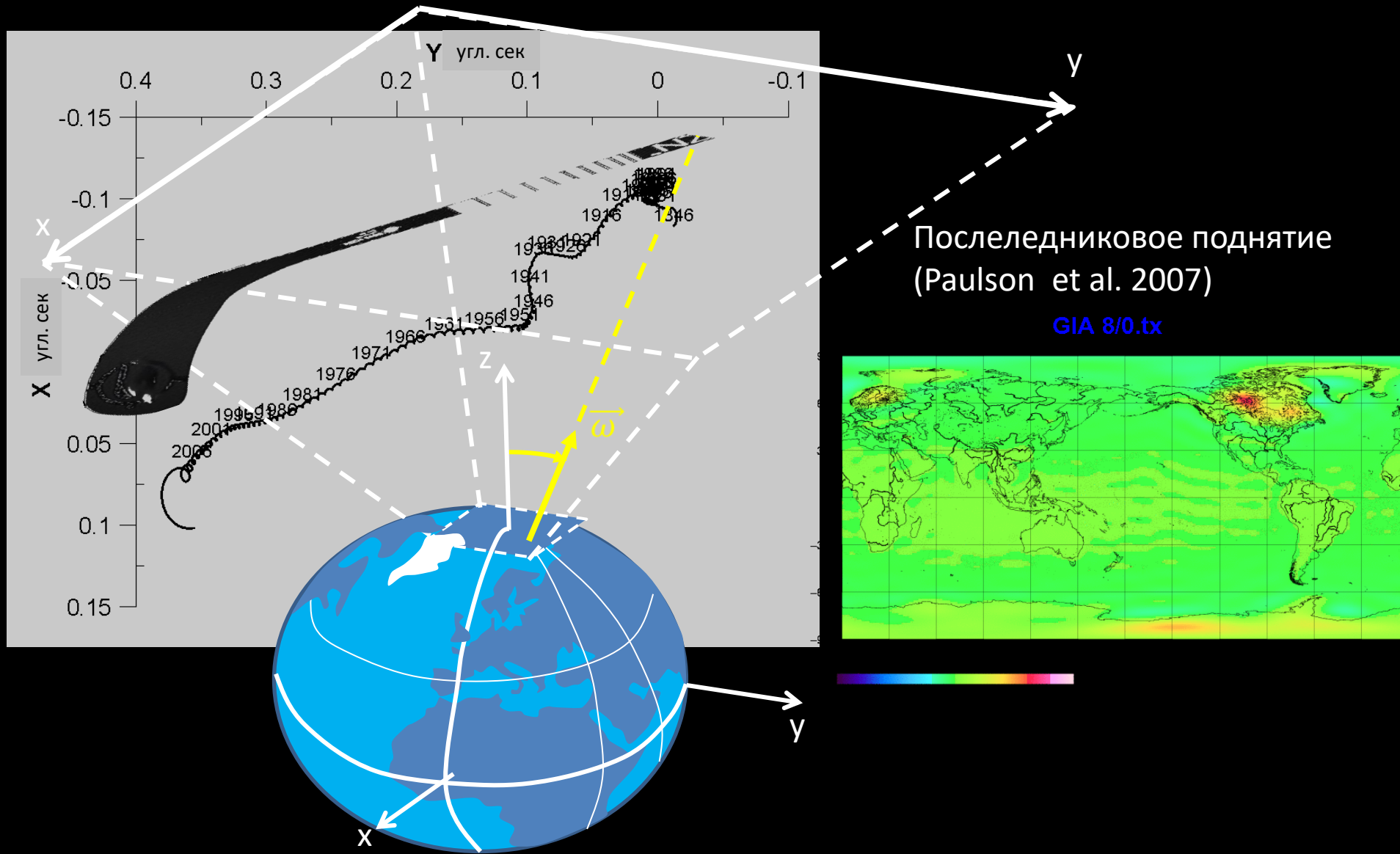
Коэффициент $J_2 = -\sqrt{5}C_{20}$ по SLR и GRACE и его вклад в LOD



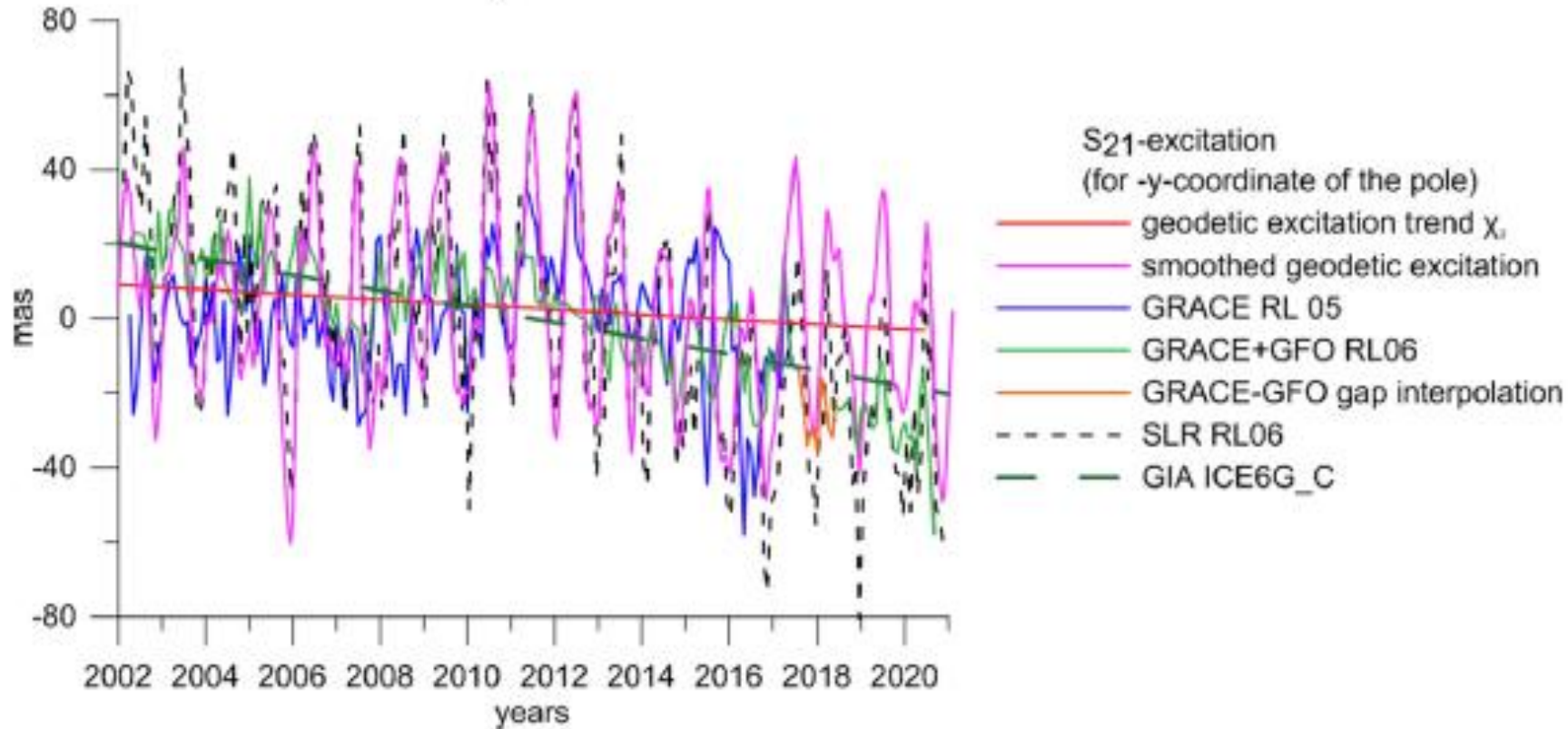
Движение полюса с 1846 по 2025 из бюллетеня EOP C01



Тренд движения полюса и последледниковое поднятие



Согласие коэффициентов C_{21} S_{21} по SLR и GRACE с трендами движения полюса

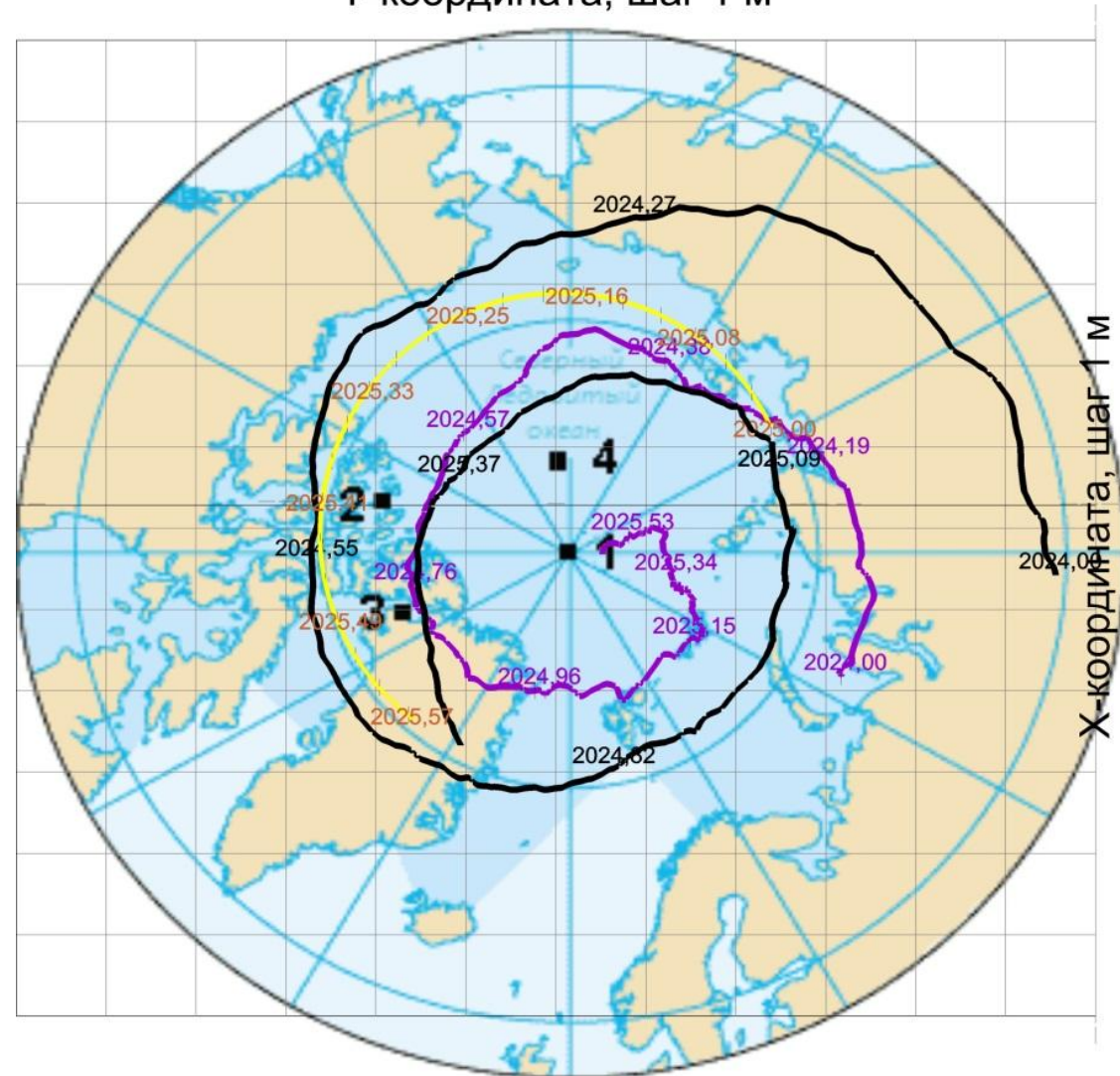


Климатологическое перераспределение масс ответственно за дрейф полюса.

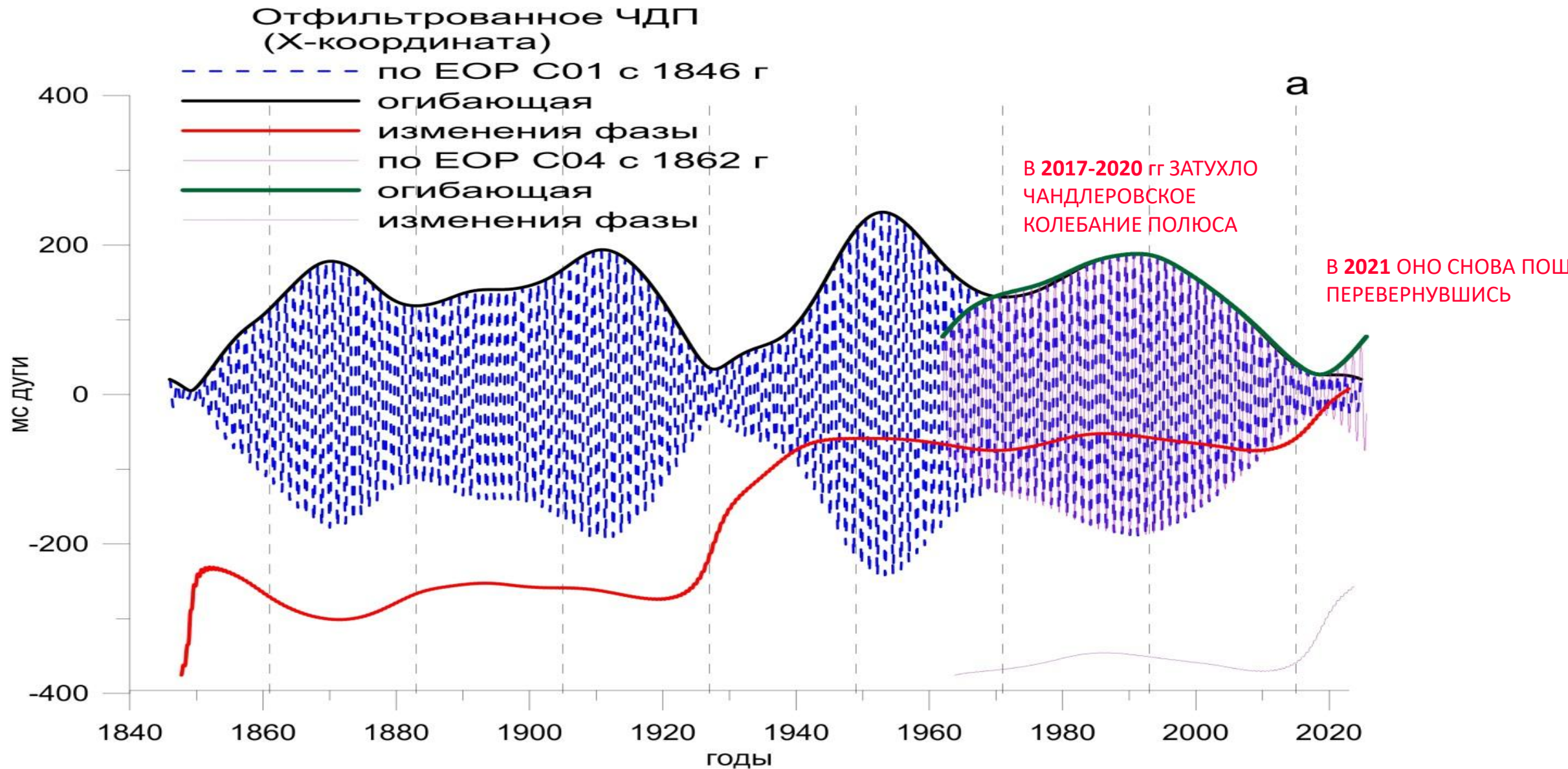
Leonid Zotov, Christian Bizouard, C.K. Shum, Vera Zinovieva, Analysis of the Second Degree Stokes Coefficients of Geopotential and Earth Rotation Trends, AIP proceedings & EGU-2018

- Движение полюса
- по данным ЕОР С01
 - Чандлеровское колебание
 - + — ДП за вычетом годового колебания
 - + — годовое колебание

Y-координата, шаг 1 м



Чандлеровское колебание с 1846 по 2025 и его фаза



Динамическая модель вращения Земли

$$\frac{i}{\sigma_c} \frac{dp(t)}{dt} + p(t) = \chi(t)$$

$$p = p_1 + ip_2$$

$$\chi = \chi_{mass} + \chi_{motion}$$

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

$$f_c = \frac{1}{433} \text{ с}^{-1} \quad Q = 100$$

Во временной области

$$\frac{-\omega \hat{p}(\omega)}{\sigma_c} + \hat{p}(\omega) = \hat{\chi}(\omega)$$

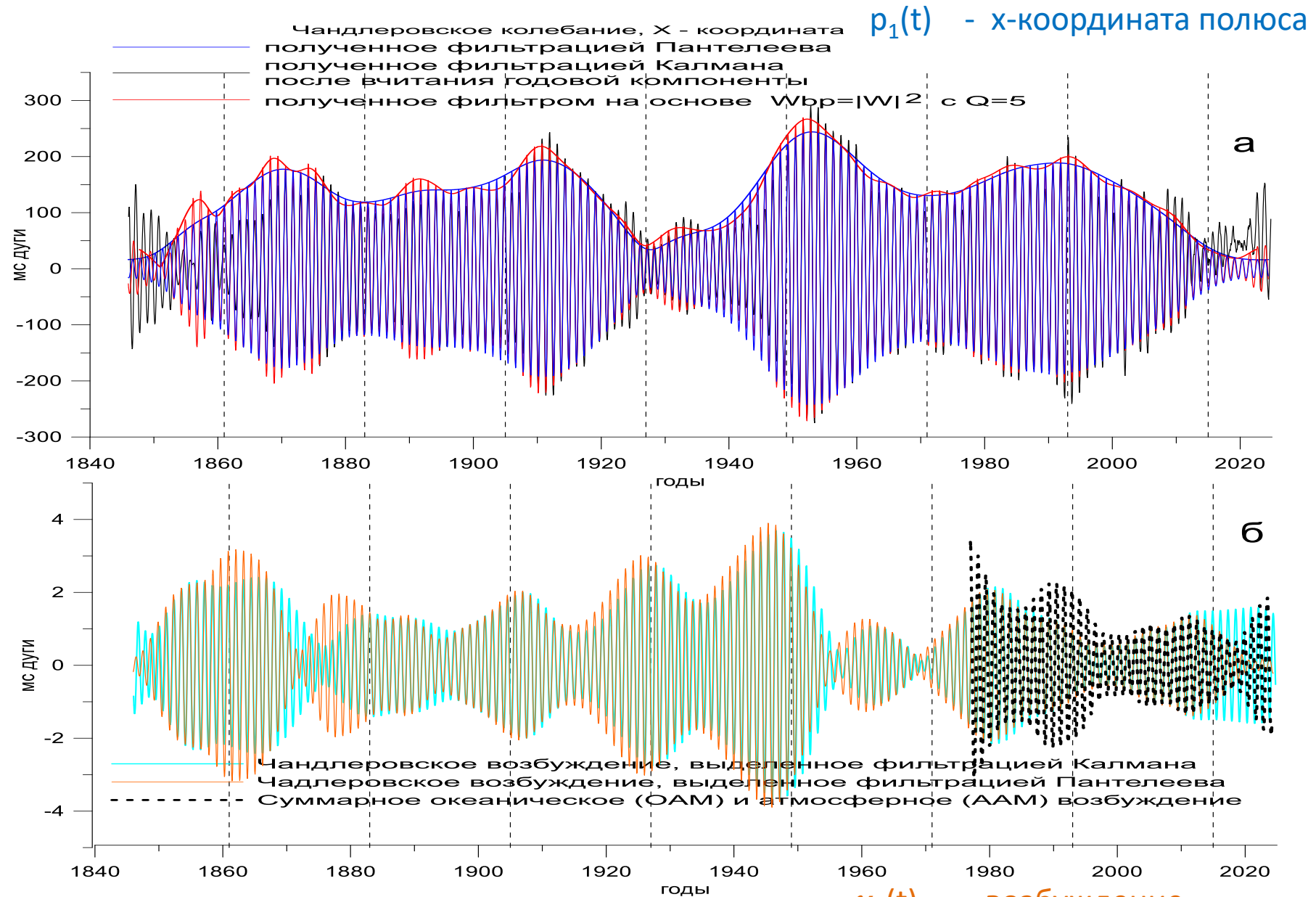
$$\frac{\sigma_c - \omega}{\sigma_c} \hat{p}(\omega) = \hat{\chi}(\omega)$$

$$\hat{p}(\omega) = W(\omega) \hat{\chi}(\omega)$$

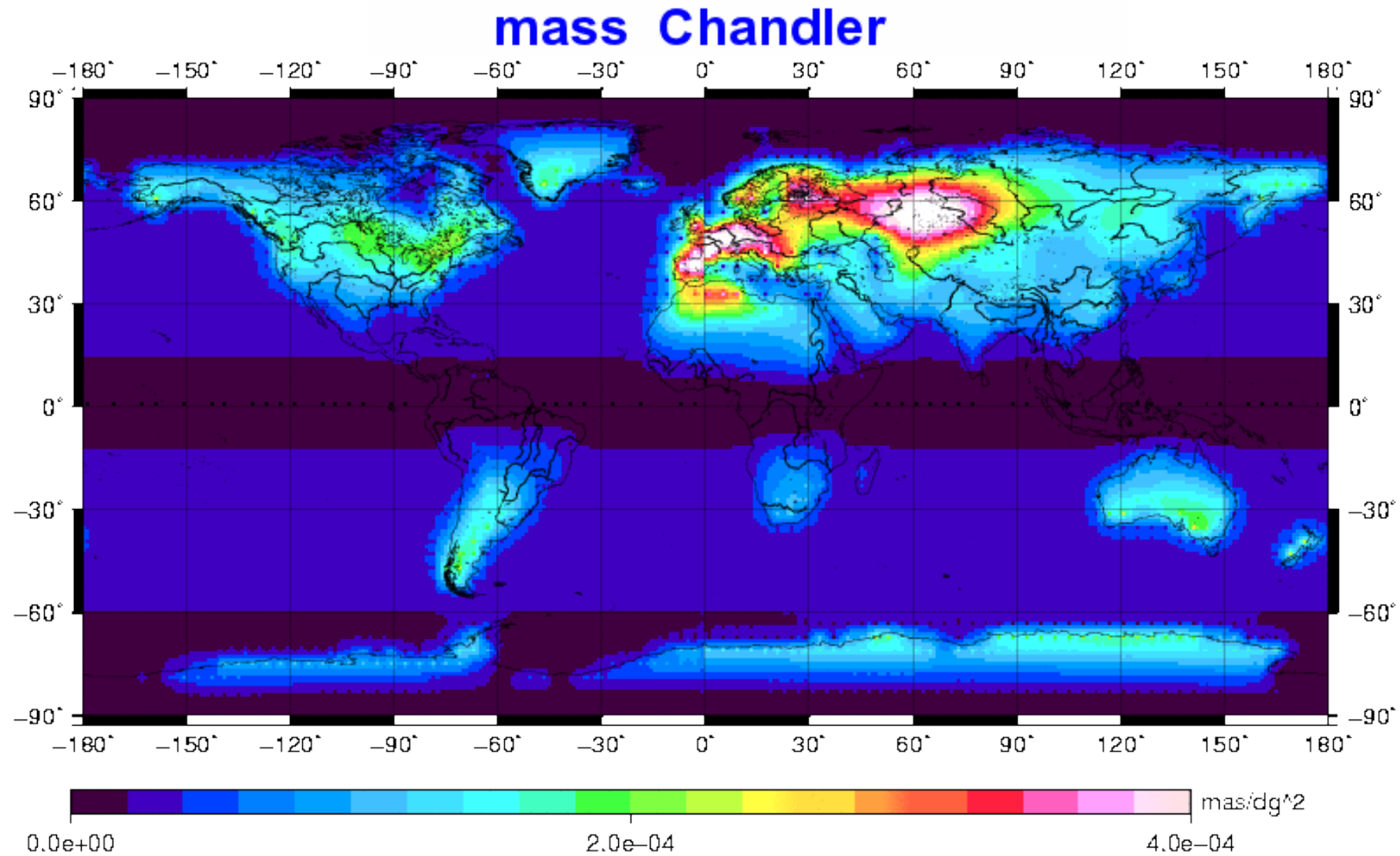
$$W(\omega) = \frac{\sigma_c}{\sigma_c - \omega}$$

В частотной области

Чандлеровское колебание p и его возбуждение χ

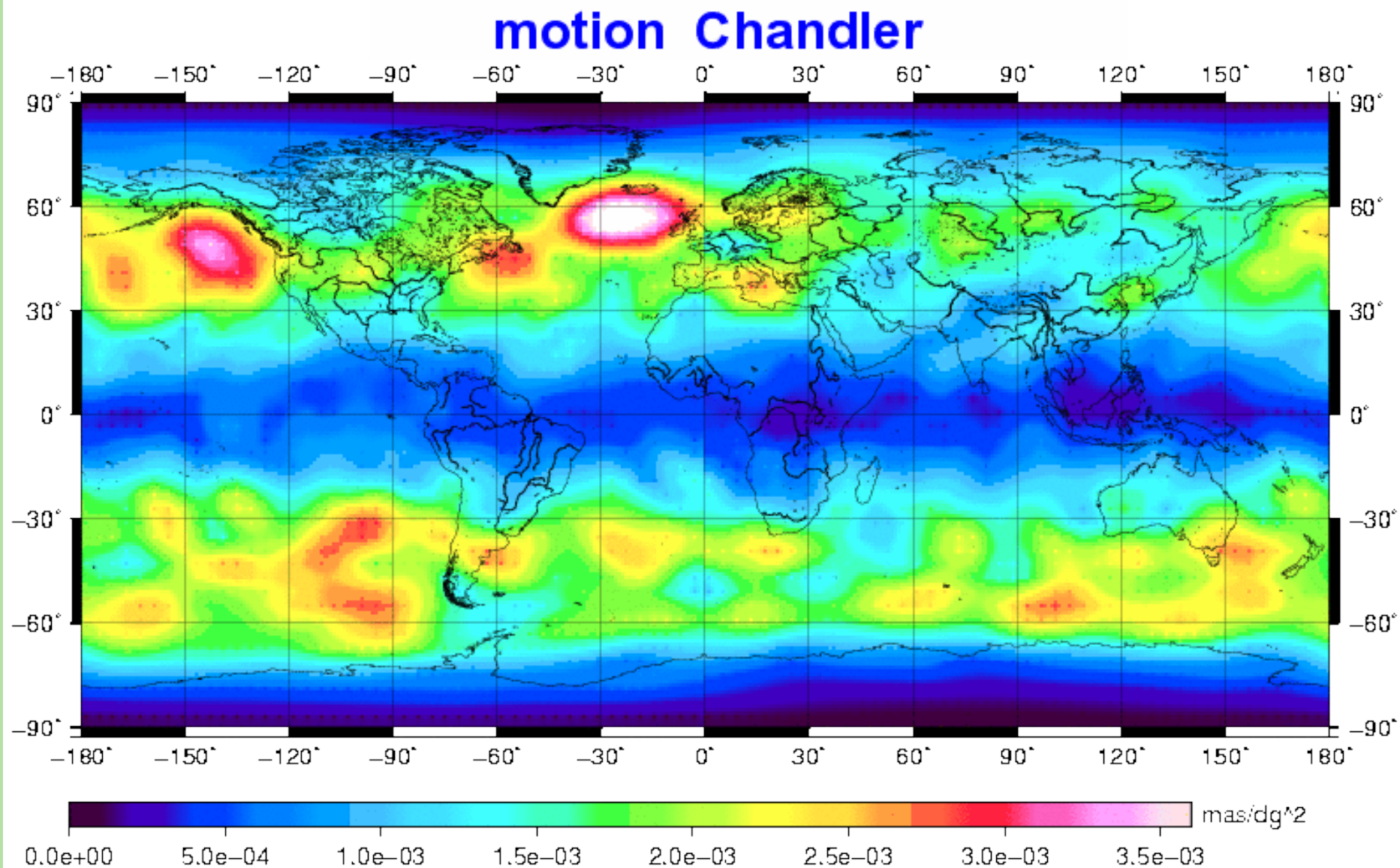


МОДУЛЬ МЕРИДИОНАЛЬНОГО ААМ В
ЧАНДЛЕРОВСКОМ ДИАПАЗОНЕ ЕСМWF ДАВЛЕНИЕ

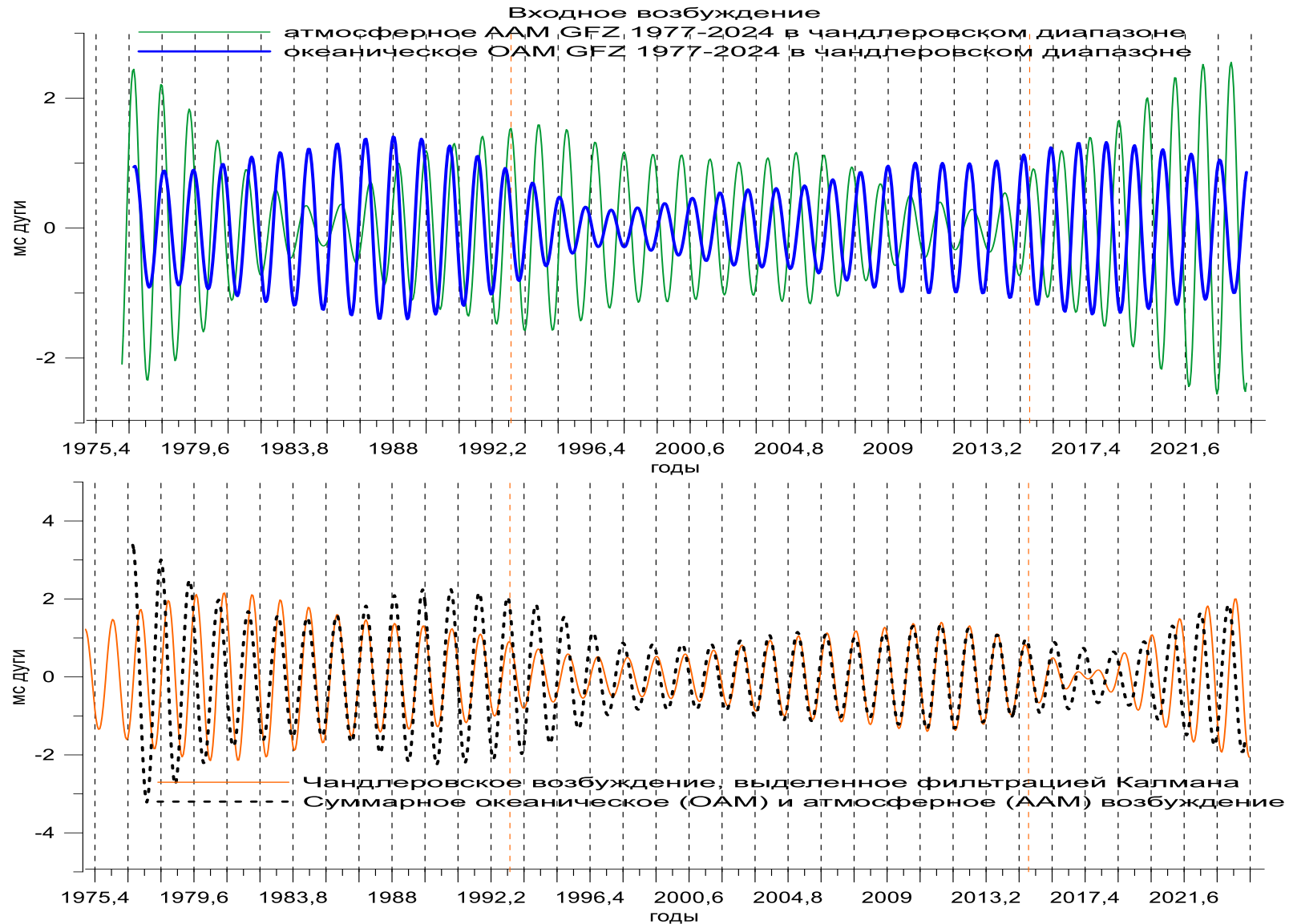


processed by L. Zotov

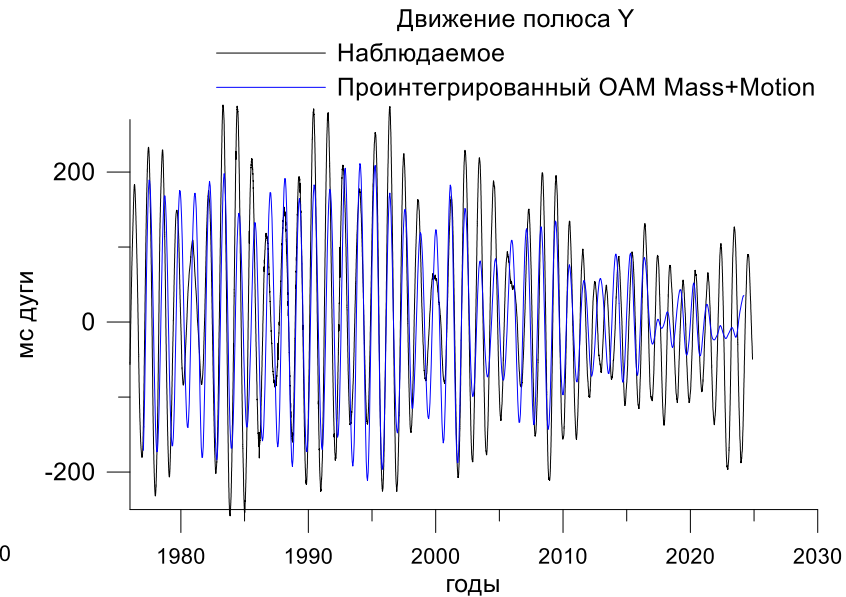
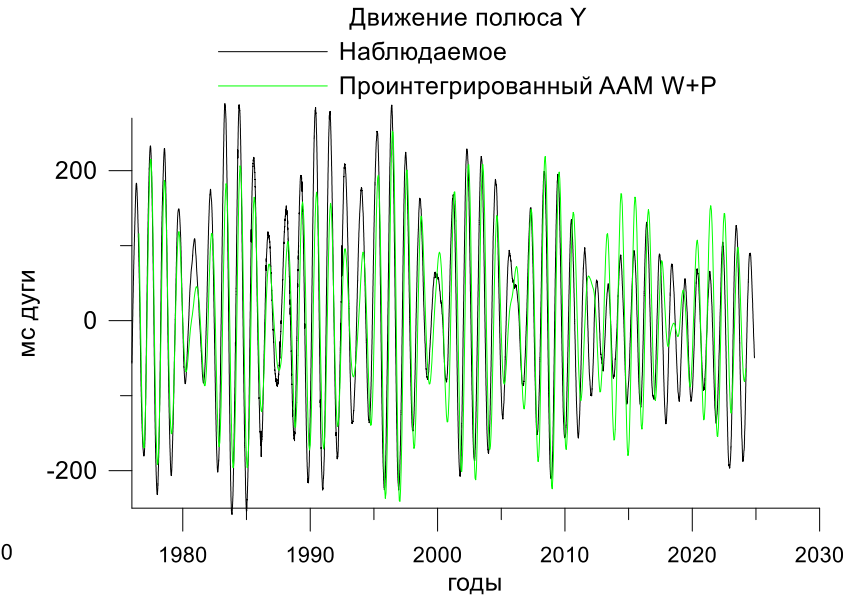
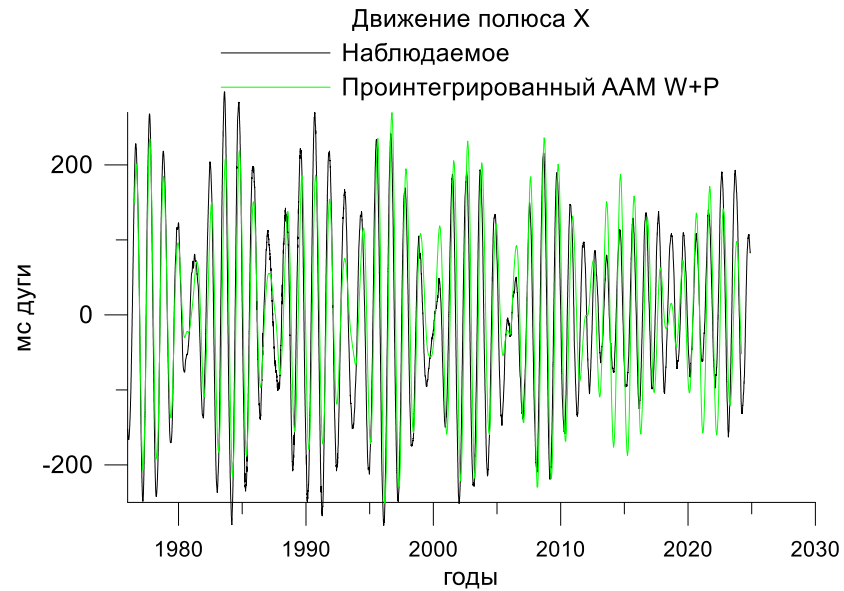
МОДУЛЬ МЕРИДИОНАЛЬНОГО ААМ В ЧАНДЛЕРОВСКОМ ДИАПАЗОНЕ ЕСМWF ВЕТЕР



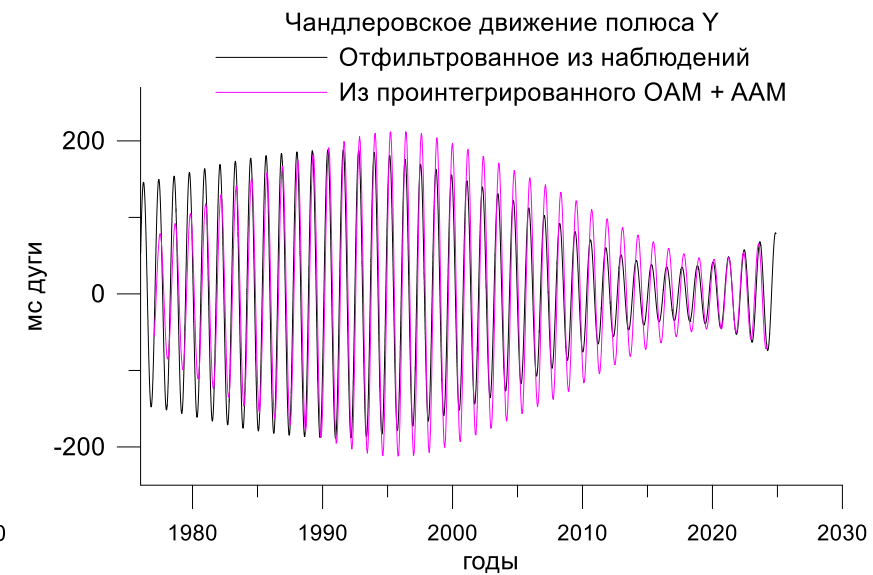
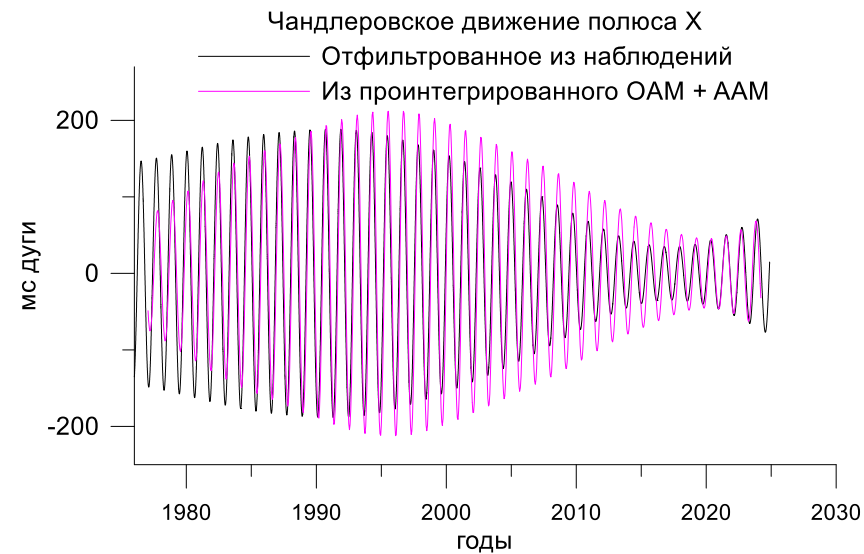
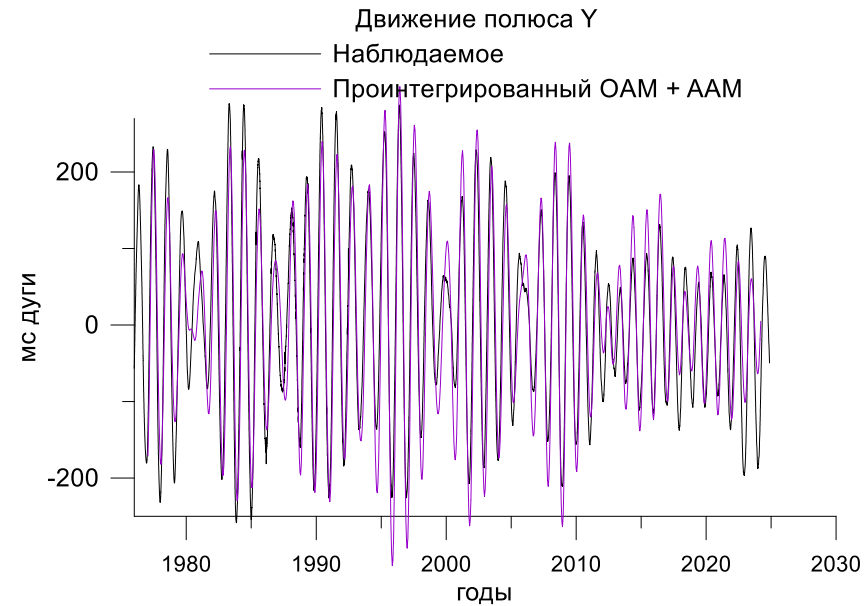
Вклад атмосферы и океана в Чандлеровское возбуждение



Влияние атмосферы и океана на движение полюса



Сумма влияния атмосферы и океана на ΔP и $\dot{\Delta P}$





PERGAMON

Geodynamics 27 (1999) 61–73

JOURNAL OF
GEODYNAMICS

B.F. Chao, Y.-H. Zhou/Geodynamics 27 (1999) 61–73

Meteorological excitation of interannual polar motion by the North Atlantic Oscillation

Benjamin Fong Chao^{a,*}, Yong-Hong Zhou^b

^a Space Geodesy Branch, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771, U.S.A.

^b Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai, China

Received 12 December 1996; revised 12 December 1997; accepted 4 June 1997

Abstract

Variations of the atmospheric angular momentum (AAM) is responsible for almost all of the observed length-of-day (LOD) variation on time scales from several days to several years, and much of the observed polar motion on the intra-seasonal time scale. El Niño/Southern Oscillation (ENSO) and Quasi-Biennial Oscillation (QBO) have been singled out to successfully explain interannual LOD variations. However, excitation sources for the interannual polar motion, including the 14 month Chandler wobble, have not been positively identified. This paper studies the correlation of the observed polar motion Ψ with the North Atlantic Oscillation (NAO), an interannual, mid-latitude, north-south seesaw in the atmosphere-ocean system. An index (NAOI) used as a proxy to measure the strength of NAO is compared with the observed interannual polar motion excitation during 1964–1994. Cross-correlation functions and coherence spectra demonstrate significant correlations between NAOI and Ψ , especially in the x component as expected from NAO's location and general pattern. This constitutes a positive identification of excitation of interannual polar motion by a meteorological system. Furthermore, our corresponding results with respect to ENSO strongly suggest that a combination of meteorological systems will better explain the observed interannual polar motion and perhaps the Chandler wobble. © 1998 Published by Elsevier Science Ltd. All rights reserved

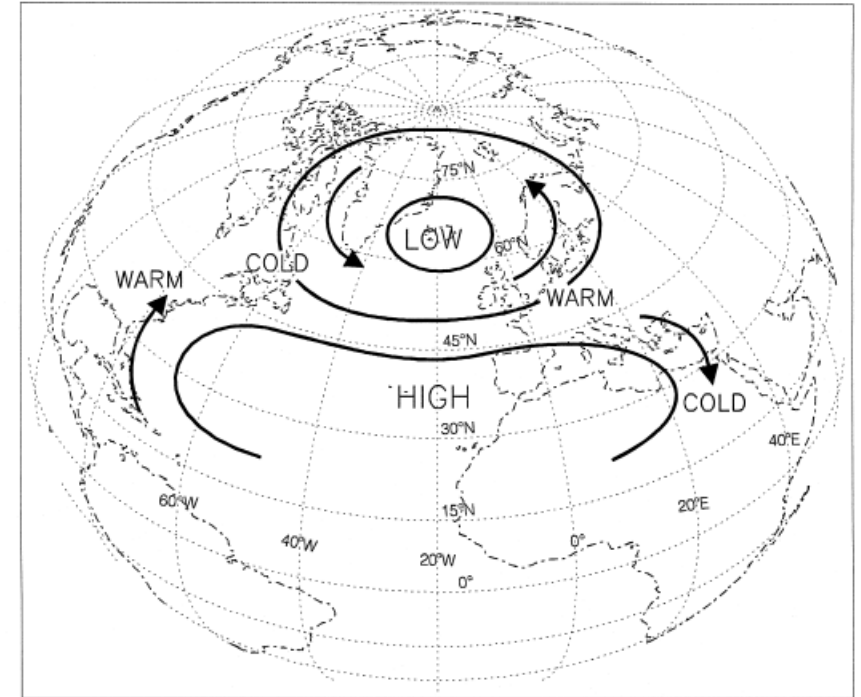
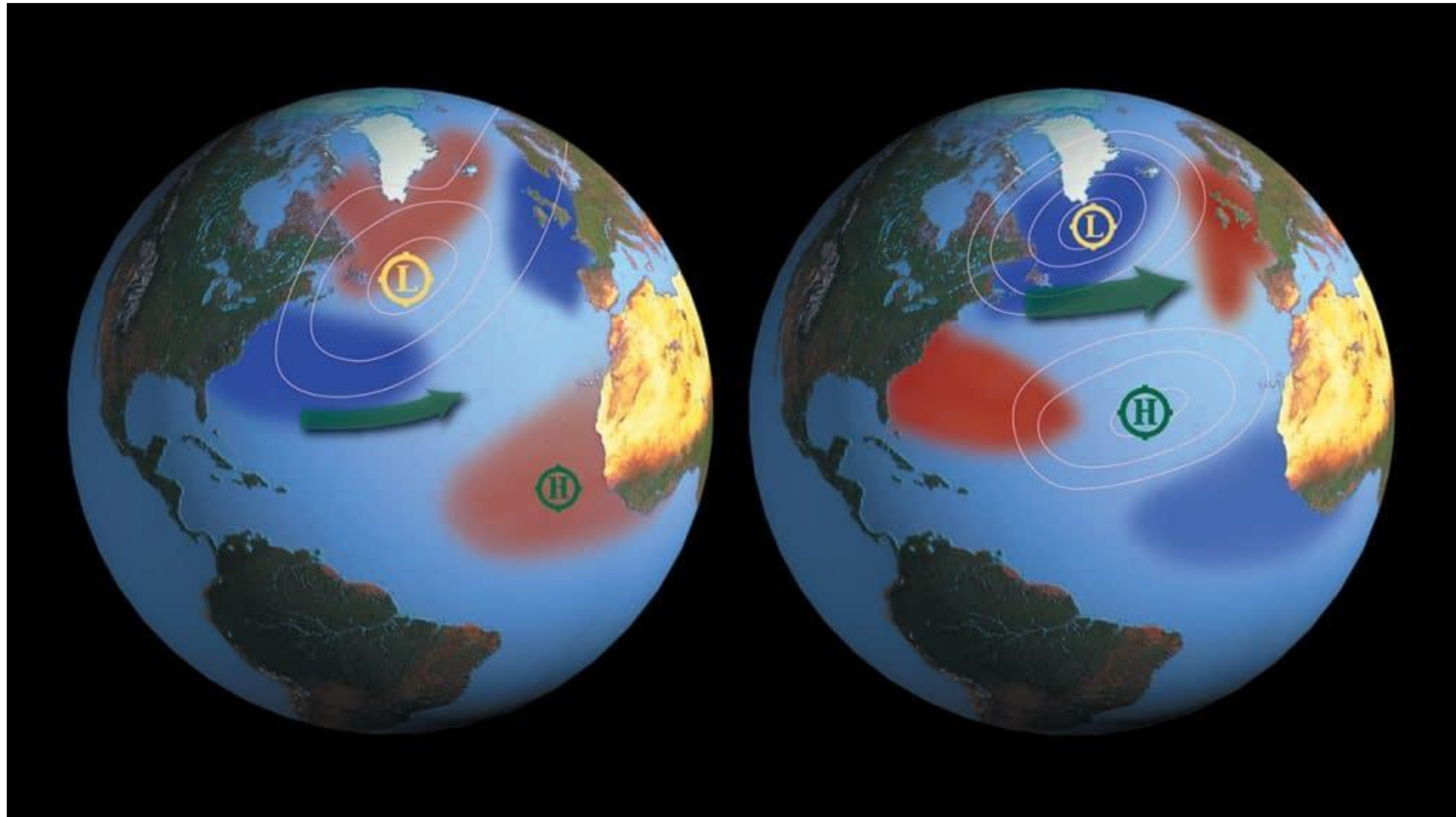
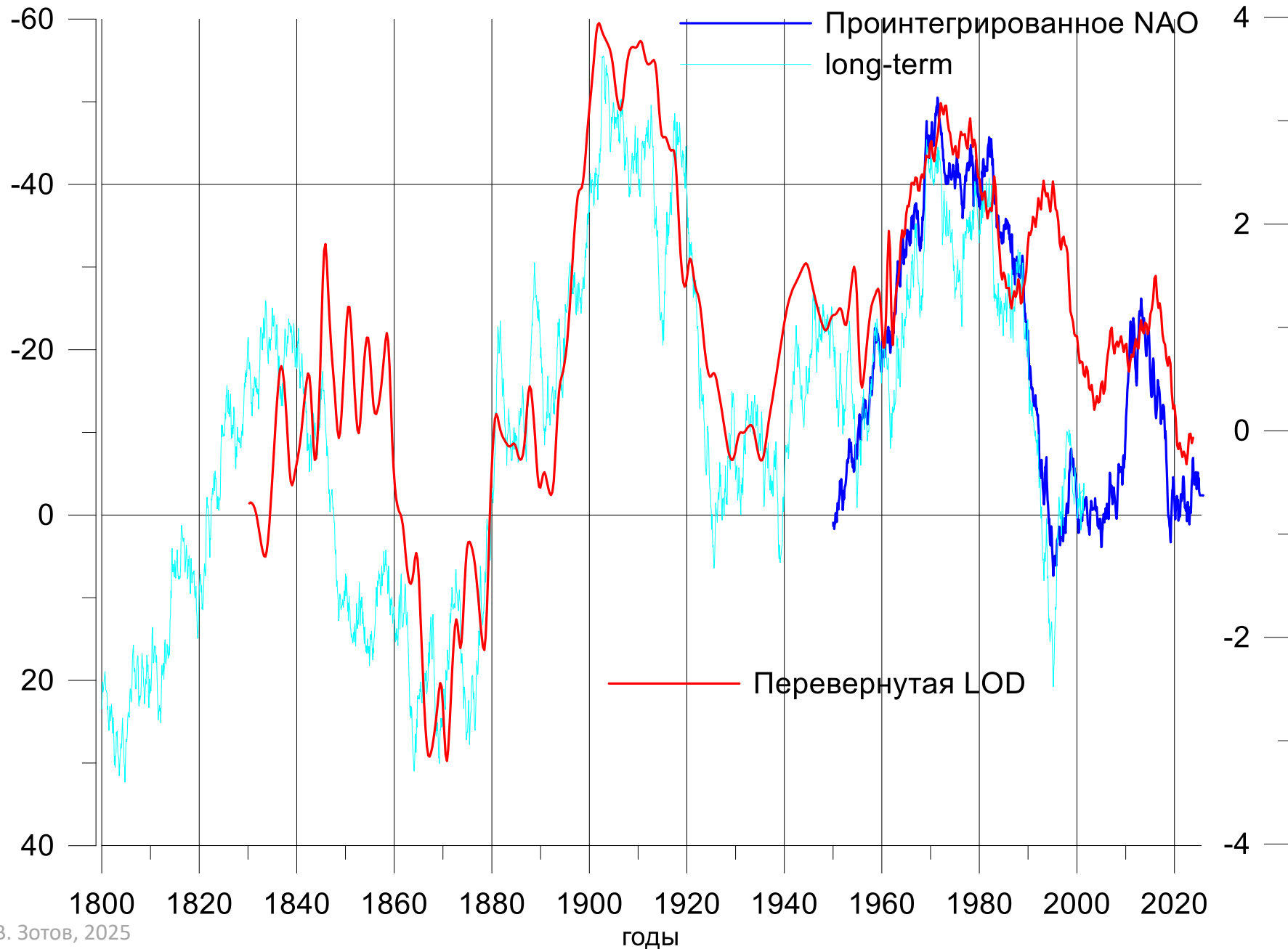


Fig. 4. Idealized schematic pattern of the North Atlantic Oscillation (after Wallace and Gutzler, 1981).

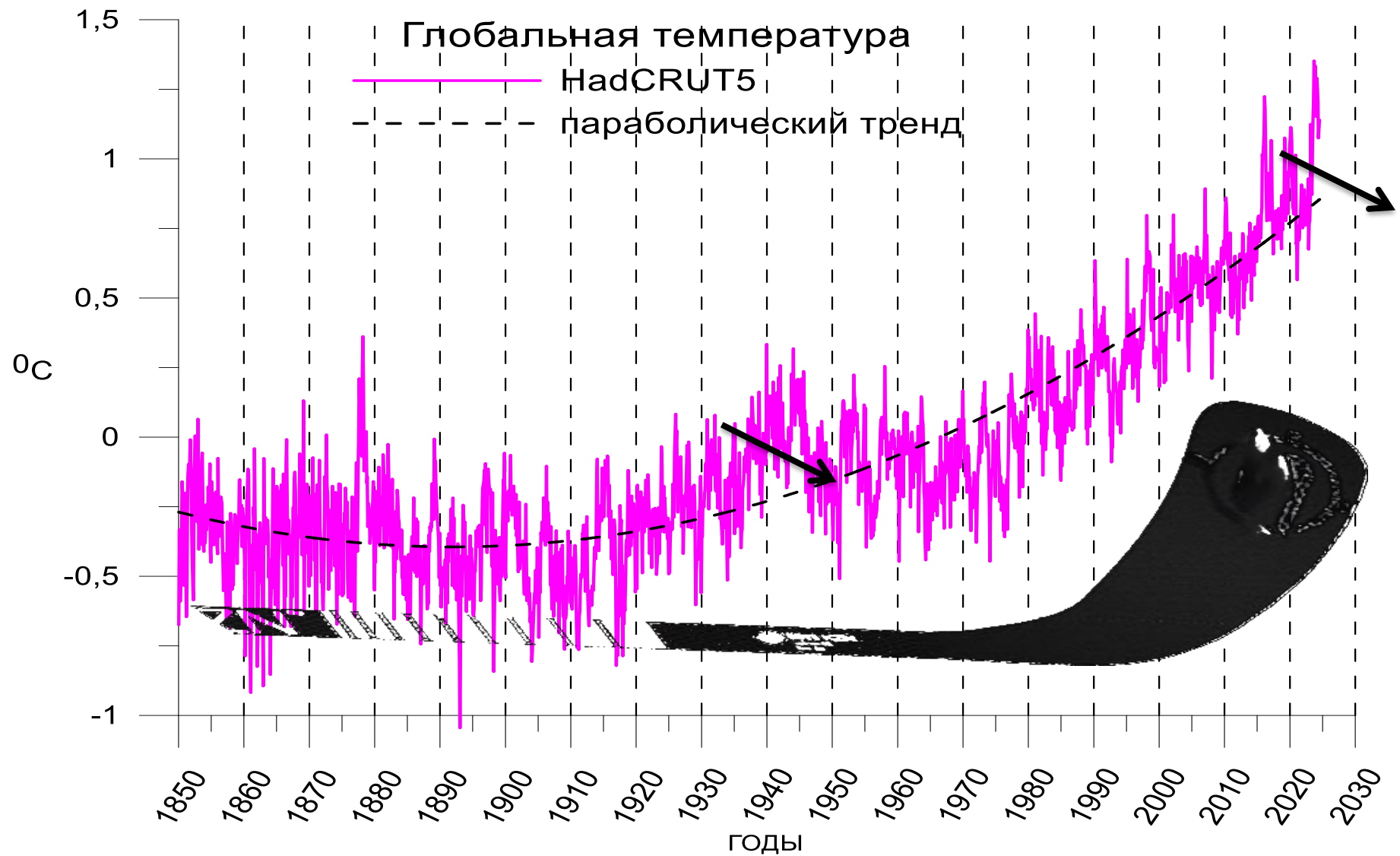
Северо-Атлантическое колебание САК



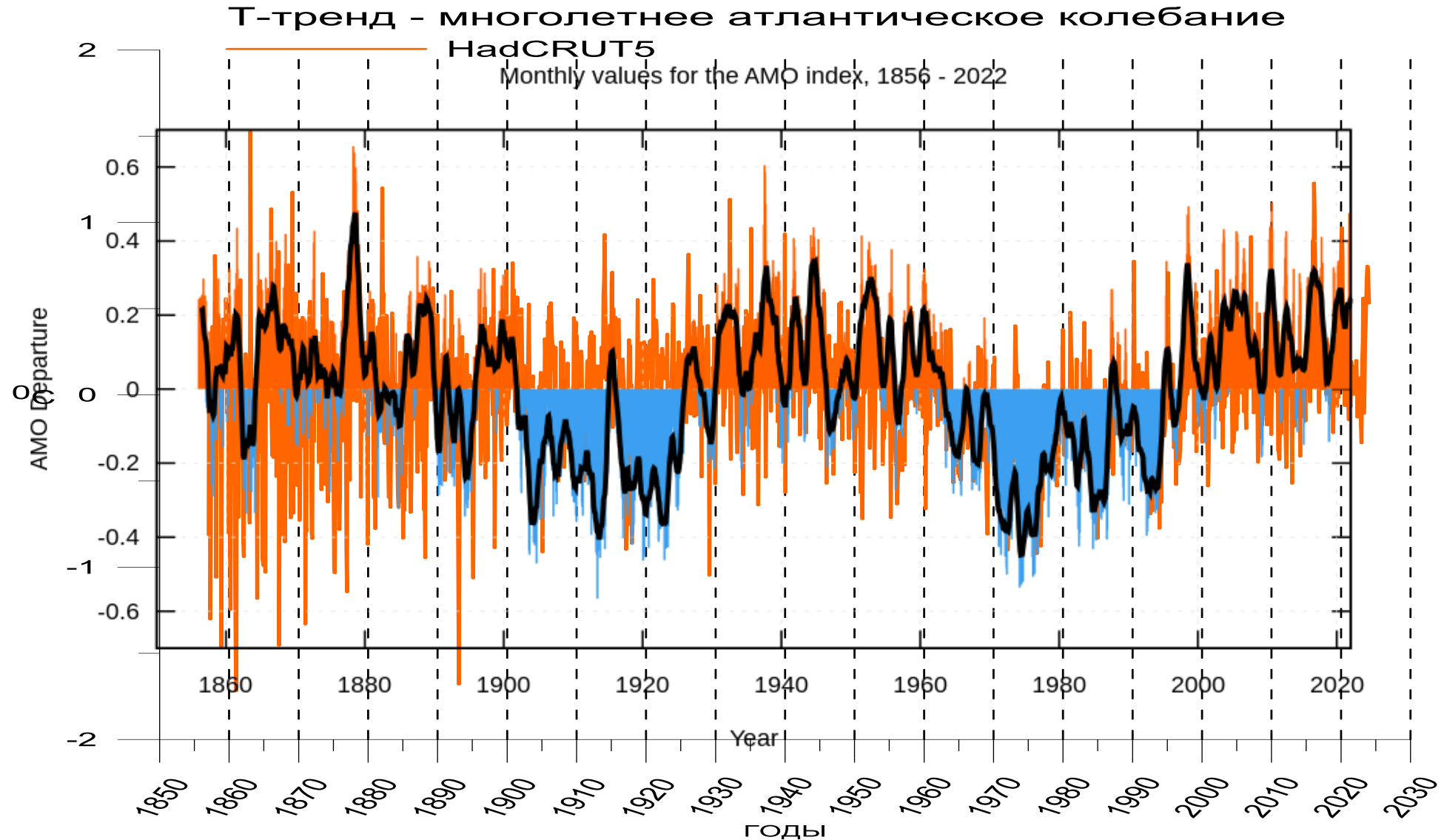
Северо-атлантическое колебание NAO и длительность суток LOD



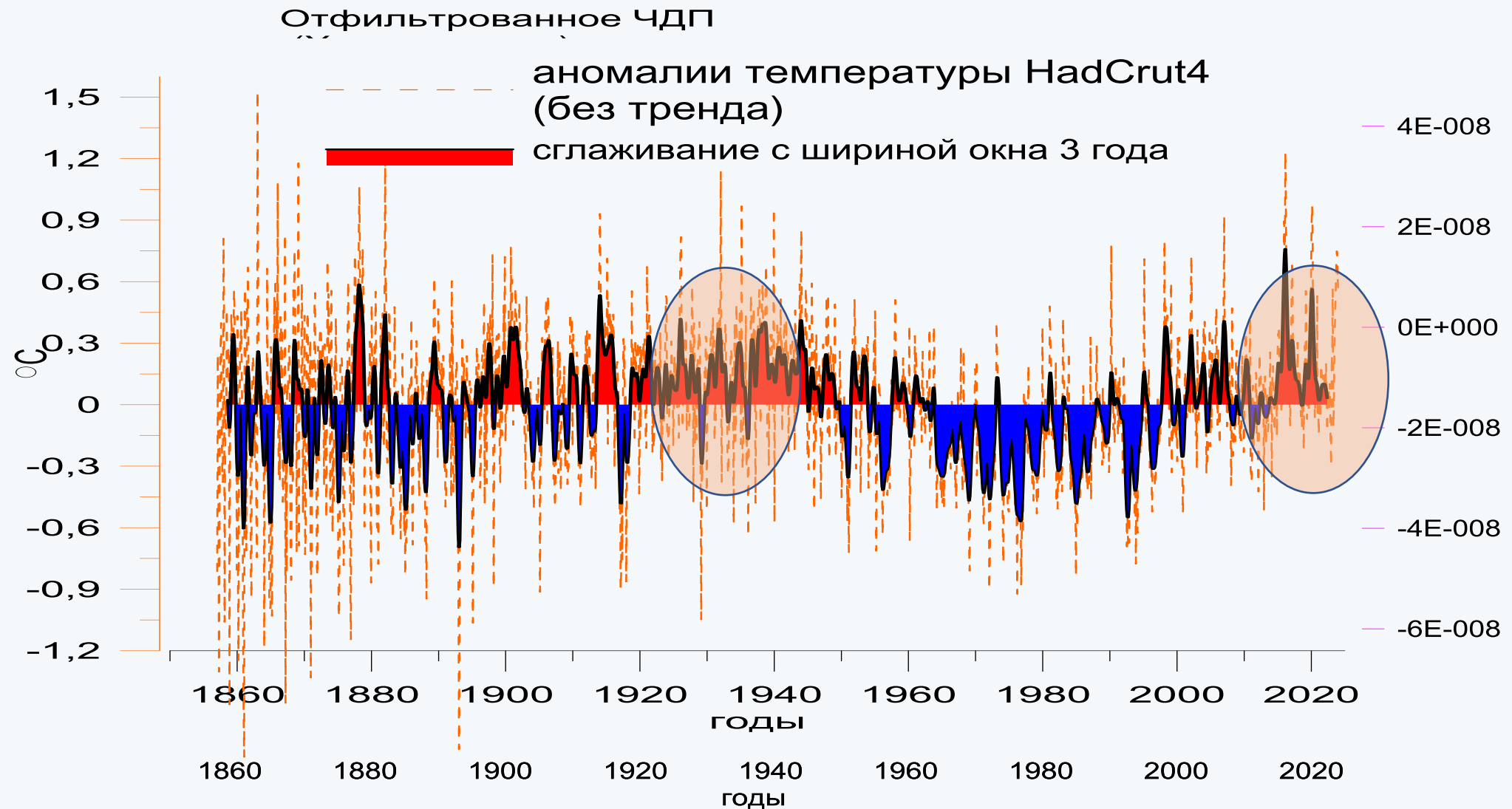
Глобальная температура на Земле



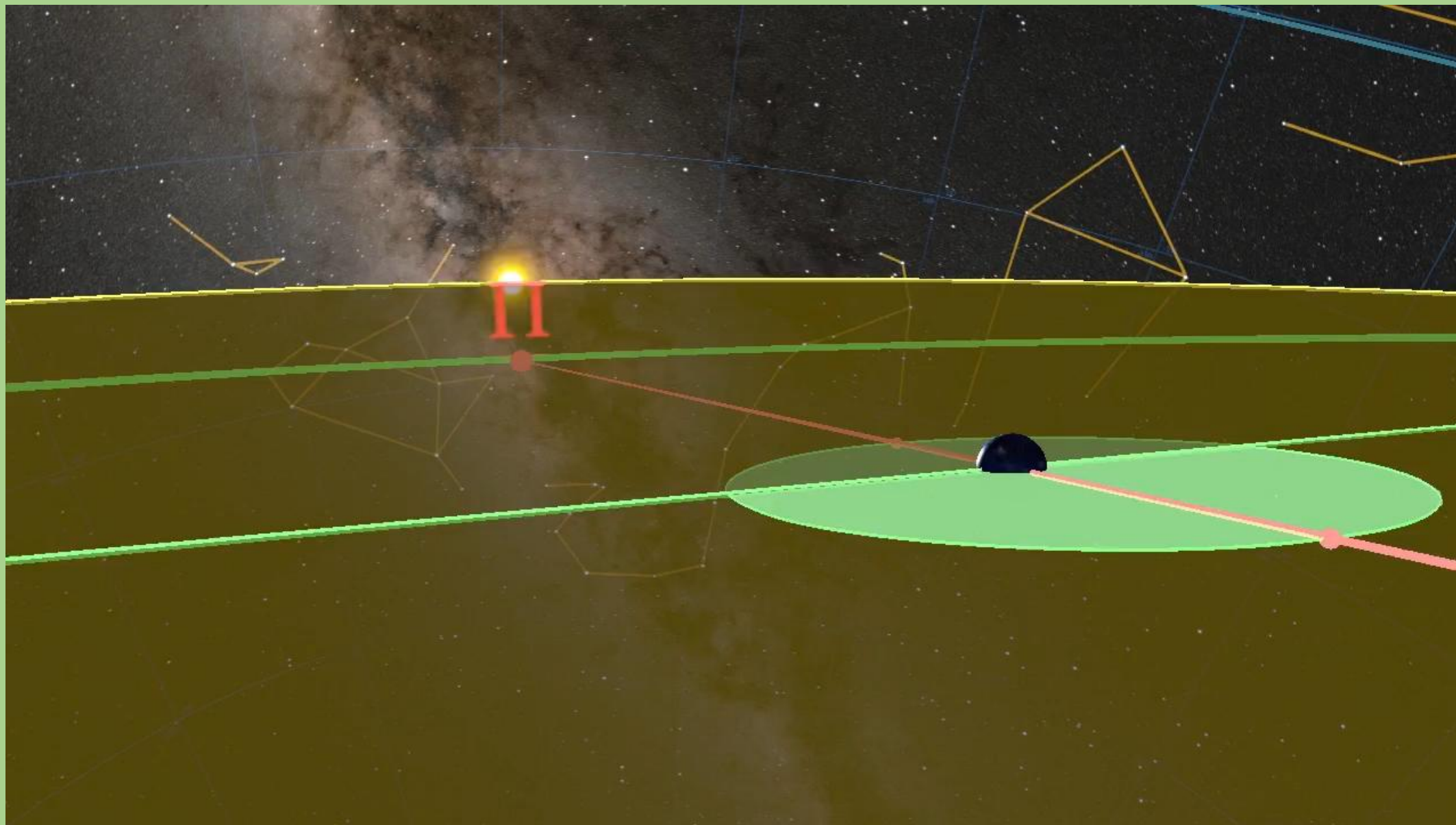
Атлантическая многолетняя осцилляция АМО

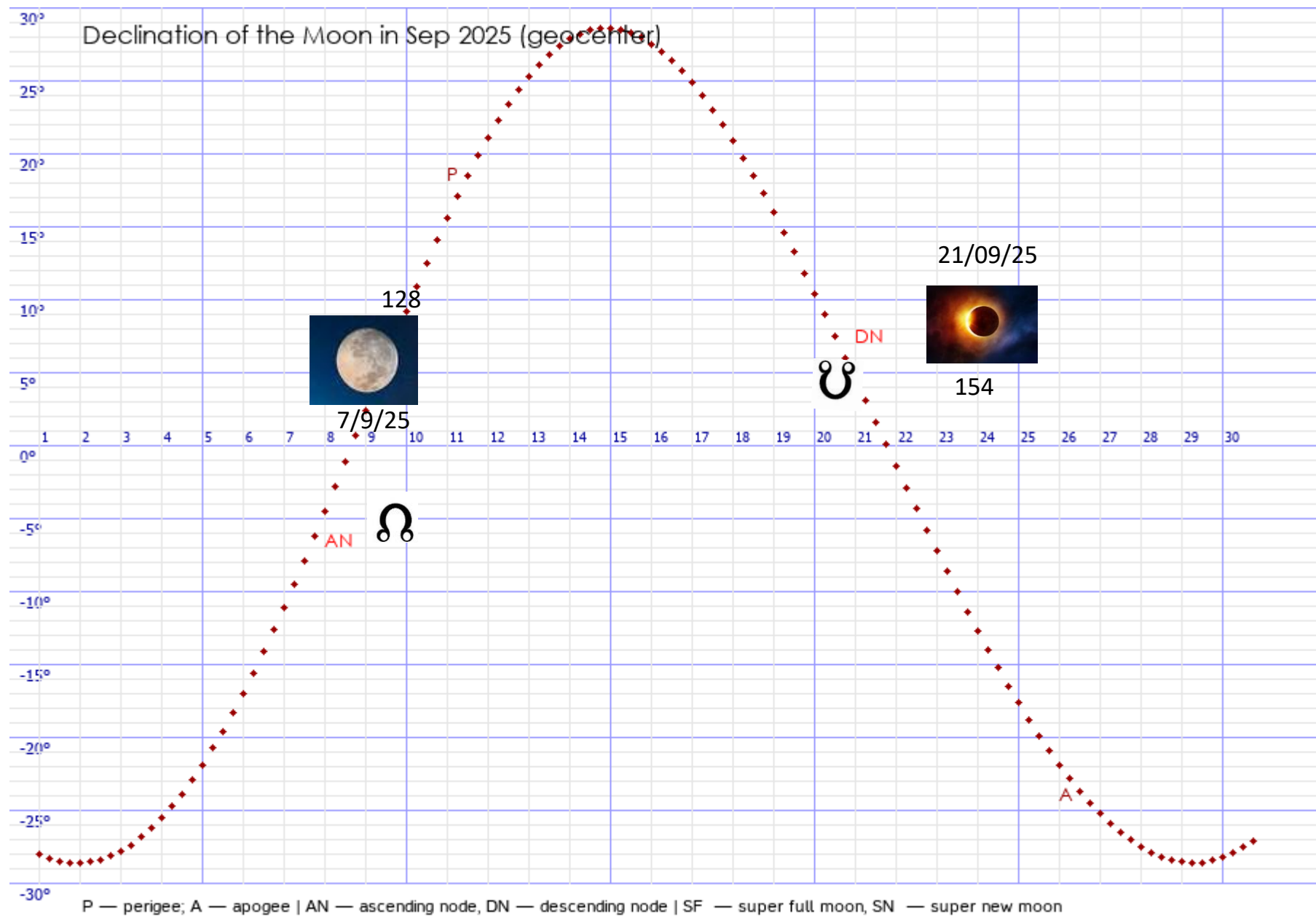


Синхронное поведение Чандлеровского колебания, скорости вращения Земли и многолетнего атлантического колебания

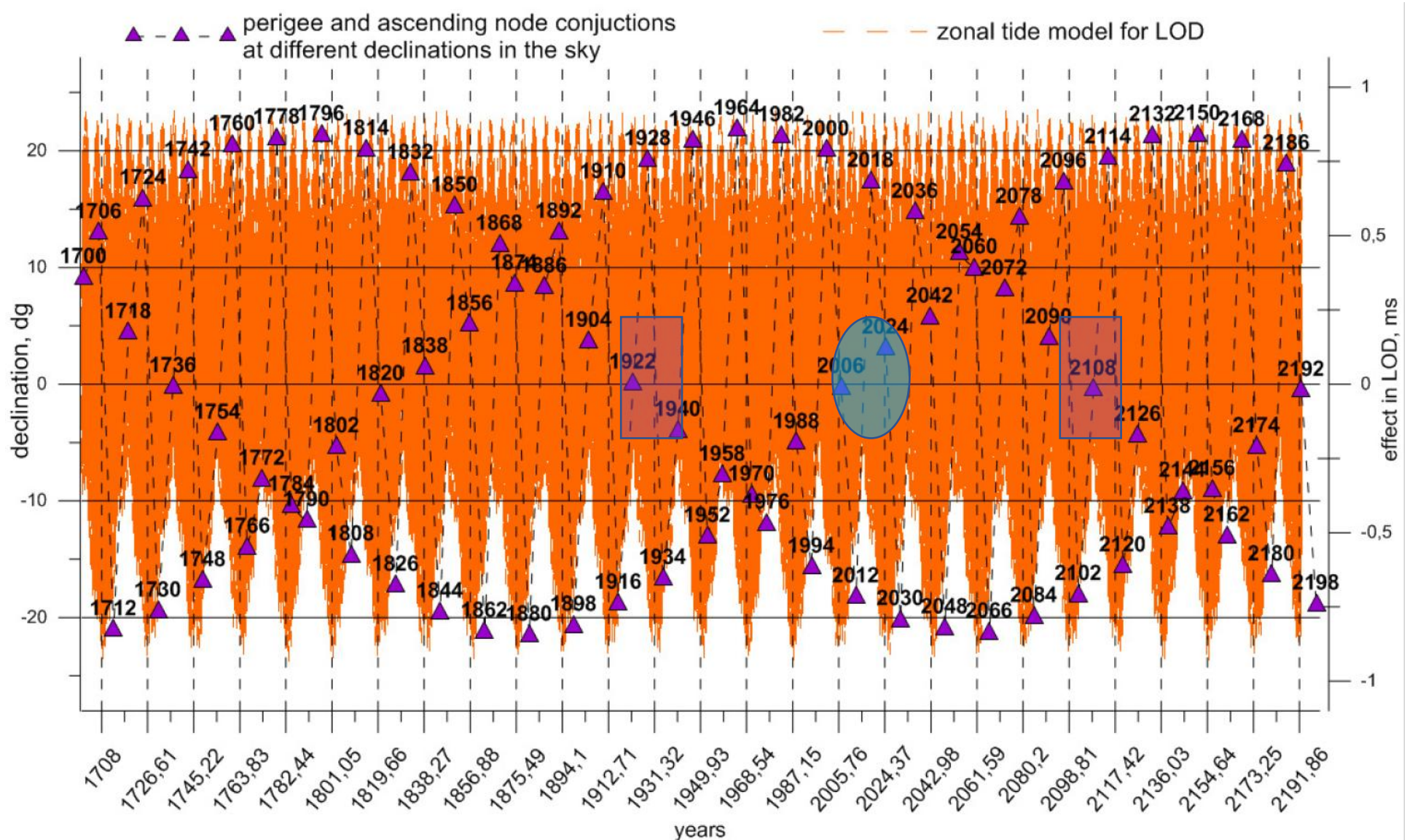


Движение перигея и узлов навстречу друг другу

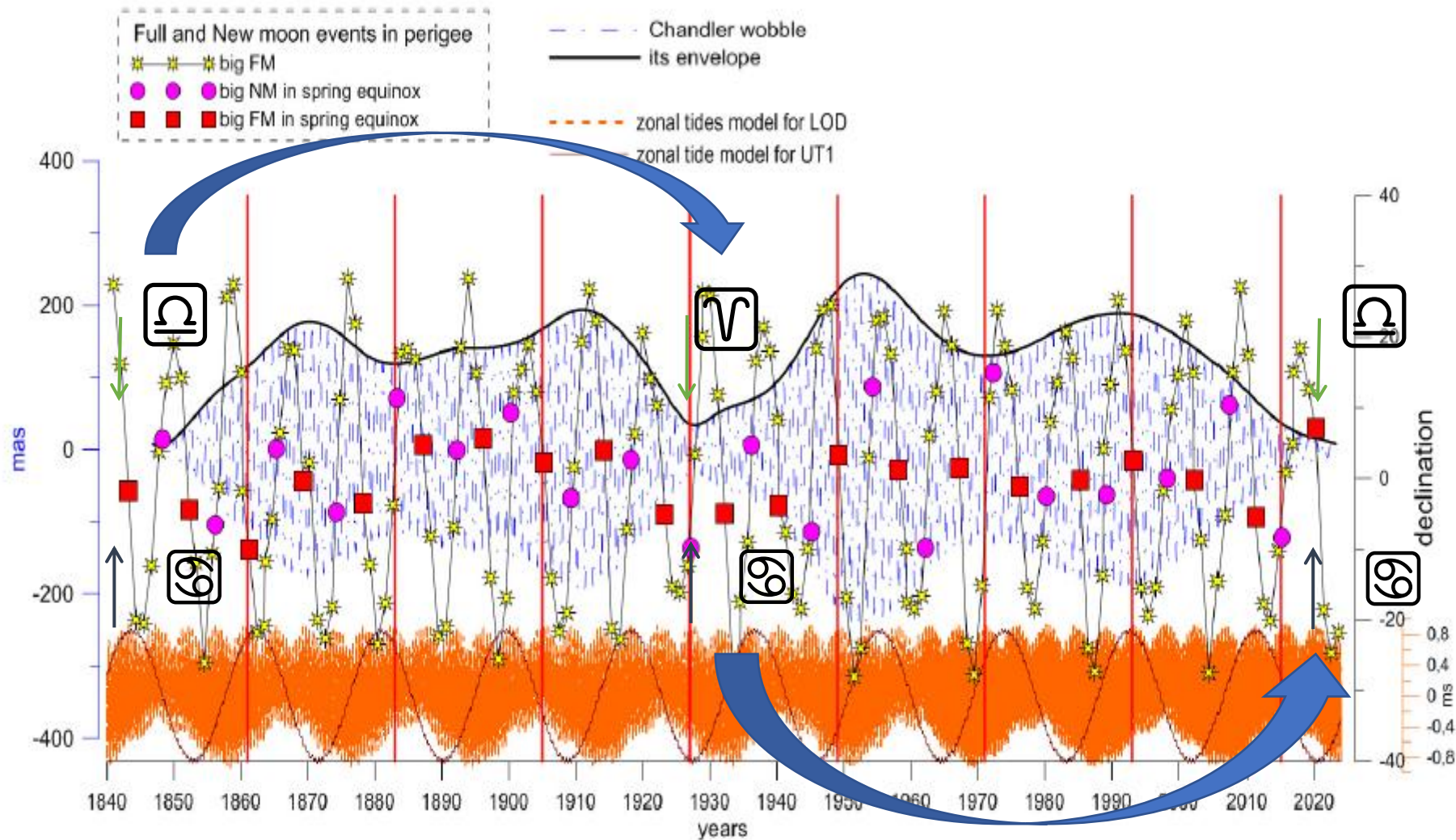




Встречи перигея и узла каждые 6 лет и их склонения



Возможная причина аномалий Чандлеровского колебания и LOD

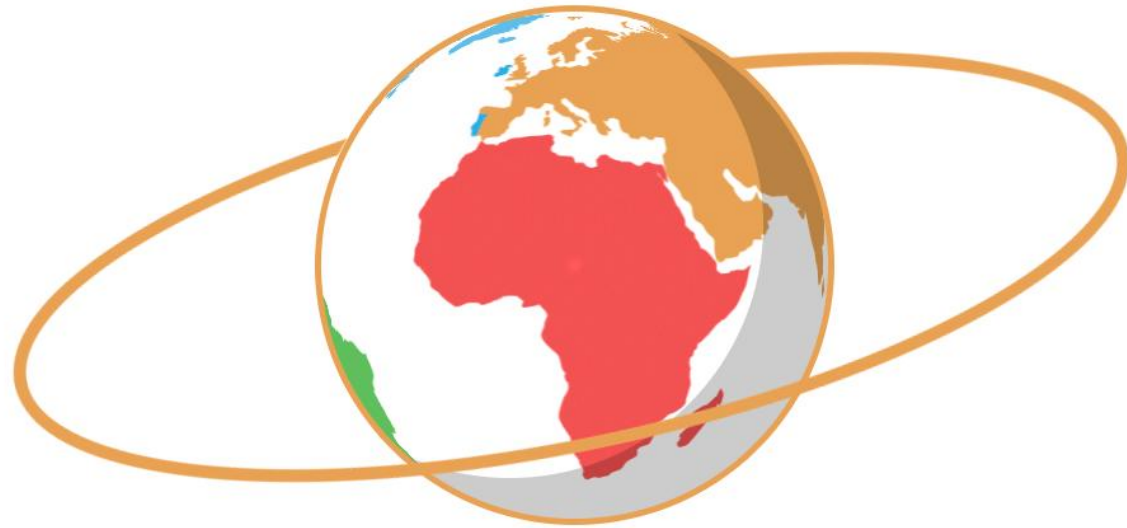


L. Zotov, Anomalies in the Earth rotation and Syzygies in Perigee, at Industry 4.0

VIII, Iss. 5, p. 166-168, 2023 WEB ISSN 2534-997X; PRINT ISSN 2534-8582

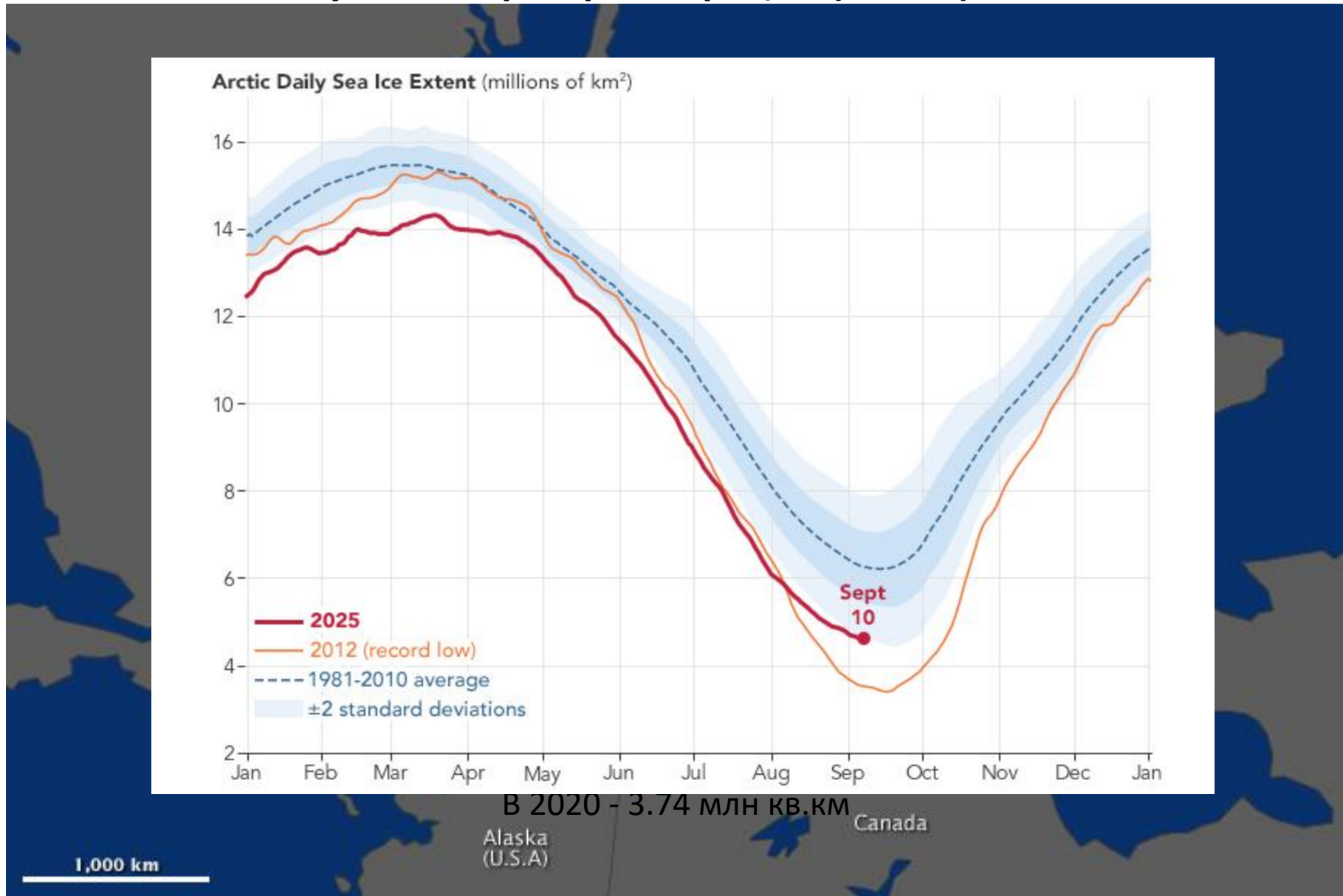
Выводы

- данные GRACE и GFO по гравитационному полю Земли незаменимы для многих геофизических приложений
- гравитационное поле над большими территориям отражает динамику климатических воздействий на ледники, вечную мерзлоту, океан, водный баланс суши
- в 2020-е годы ряд параметров вращения Земли проявил аномальное поведение: декадное ускорение вращения Земли совпало с затуханием Чандлеровского колебания полюса
- данные космической гравиметрии по первым коэффициентам гравитационного поля Земли – сжатию J_2 и асимметрий C_{21} , S_{21} помогают определить вклад перераспределений масс в аномалии вращении Земли
- массовая компонента по данным GRACE и GRACE-FO хорошо объясняет дрейф полюса, но не может объяснить аномалии ускорения вращения Земли и исчезновение Чандлеровского колебания, произошедшие с 2022 года



Ледовый покров в Арктике в сентябре 2012

- минимум в истории регистрации (с 1979), GCOM-W1

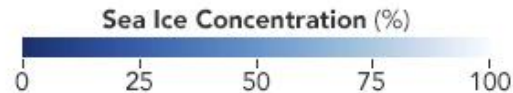
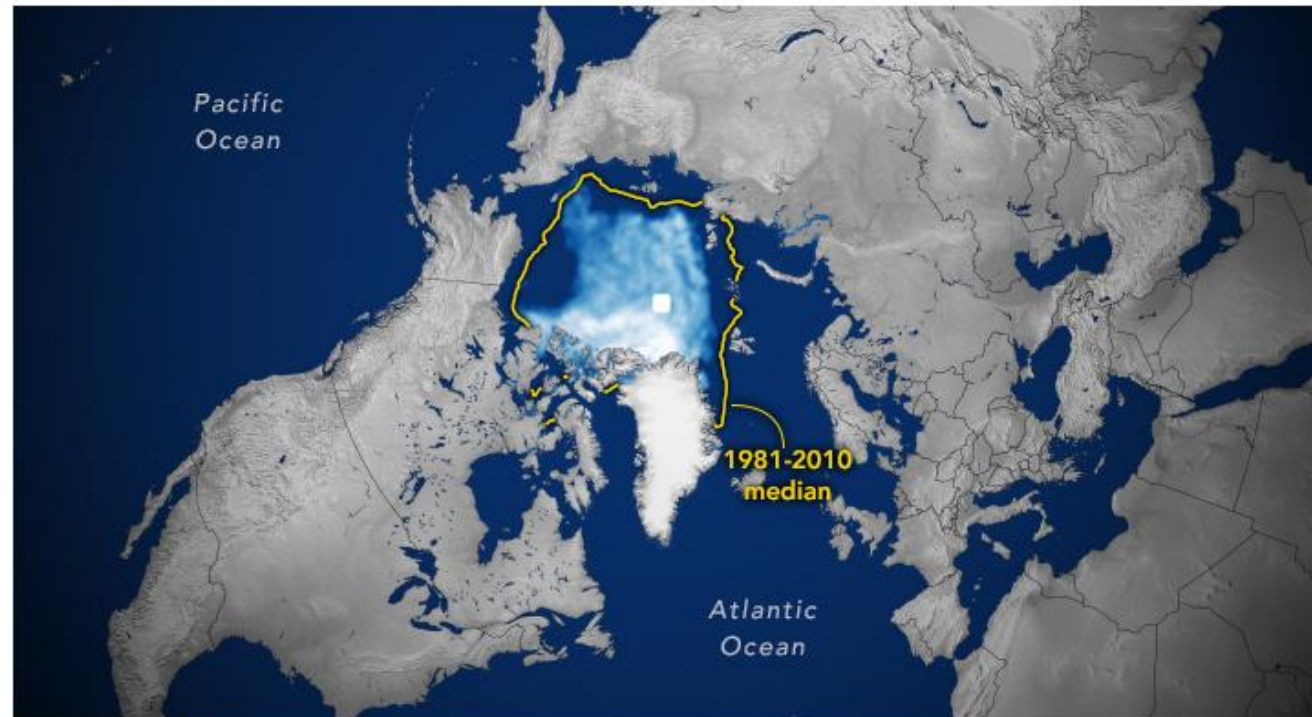


6.7 млн кв.км

Sea Ice Concentration (percent)

3.41 млн кв.км

Arctic Sea Ice Ties for 10th-Lowest on Record



September 10, 2025

 [JPEG](#)

Satellite data show that Arctic sea ice likely reached its annual minimum extent on September 10, 2025.

Image of the Day for September 19, 2025

Instruments:

DMSP — SSM/I

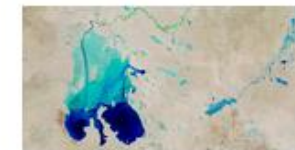
DMSP — SSMIS

Nimbus 7 — SMMR

[Image of the Day](#)

[Snow and Ice](#)

View more Images of the Day:



Sep 18, 2025



Sep 20, 2025

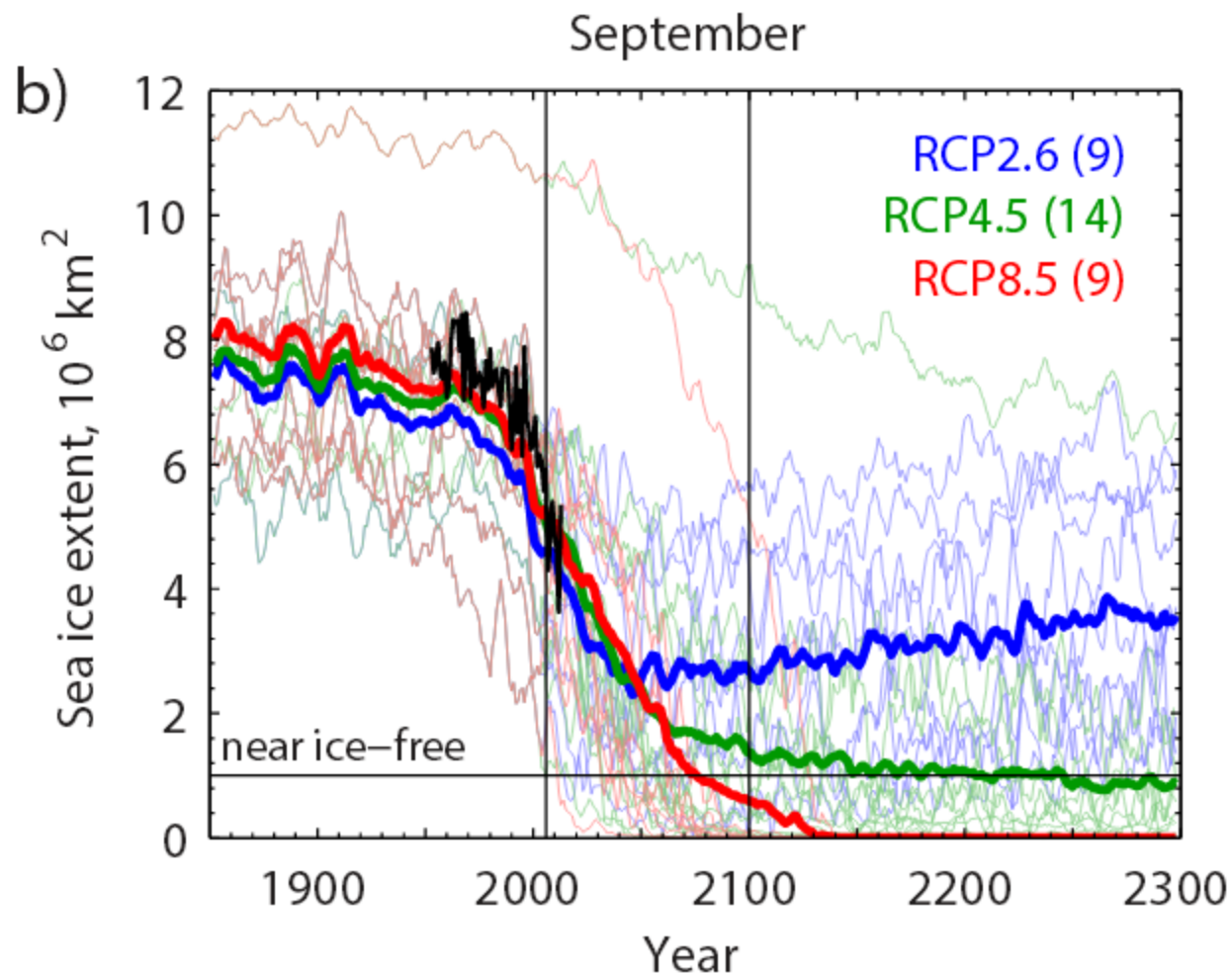


4.6 млн км²

Арктический лёд

Russian

P. J. Hezel et al.: Arctic sea ice in CMIP5 extended RCPs



Прогнозы
исчезновения льда
в Арктике
по результатам
модельных расчетов
CMIP5

Лед и облачность Берингова пролива, MODIS.Terra, Aqua I/2010

Капитан головного универсального атомного ледокола "Арктика" ФГУП "Атомфлот" Александр Скрябин читает лекцию о Перспективах освоения Арктики 19 июля в рамках VI фестиваля Русского географического общества (РГО) в Зарядье.

РОССИЯ 1

Россия 1



Воскресенье,
14 Сен

12:00

Премьера. "Путь. К 80-летию атомной промышленности"

Тысячи километров снежного безмолвия, суровые морозы и пронизывающий ветер, обманчиво хрупкая красота льда. Это Арктика, край земли, где, по словам одного из героев фильма, душа человека встречается с космосом. Может быть поэтому веками эти тревожные просторы манили людей бесстрашных и романтичных, здесь совершались величайшие

Понедельник,
15 Сен

01:30

Премьера. "Путь. К 80-летию атомной промышленности"

Тысячи километров снежного безмолвия, суровые морозы и пронизывающий ветер, обманчиво хрупкая красота льда. Это Арктика, край земли, где, по словам одного из героев фильма, душа человека встречается с космосом. Может быть поэтому веками эти тревожные просторы манили людей бесстрашных и романтичных, здесь совершались величайшие открытия, смешивались подвиг и трагедия, отчаяние, надежды и гордость победы. Здесь творилась история огромной страны - прокладывался Северный морской путь. В этом фильме прошлое встречается с настоящим, и сегодняшние герои, капитаны и команды сверхмощных атомных ледоколов, как и их предшественники, отправляются в рейс, даже не предполагая,



Отчет Межправительственной группы экспертов по изменению климата МГЭИК

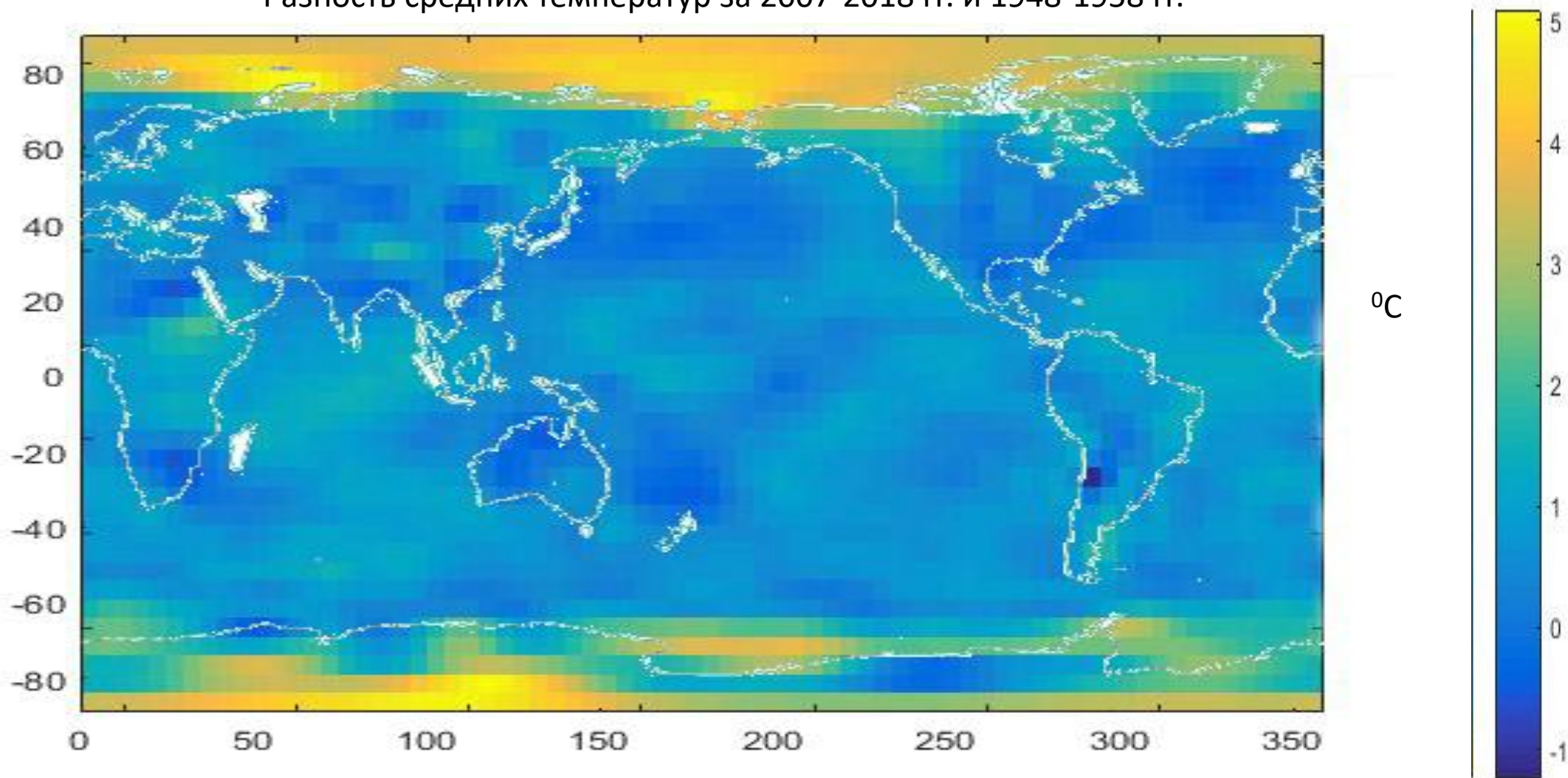
[REPORTS](#)[SYNTHESIS REPORT](#)[WORKING GROUPS](#)[ACTIVITIES](#)[NEWS](#)[CALENDAR](#)[FOLLOW](#)[SHARE](#)

Sixth Assessment Report

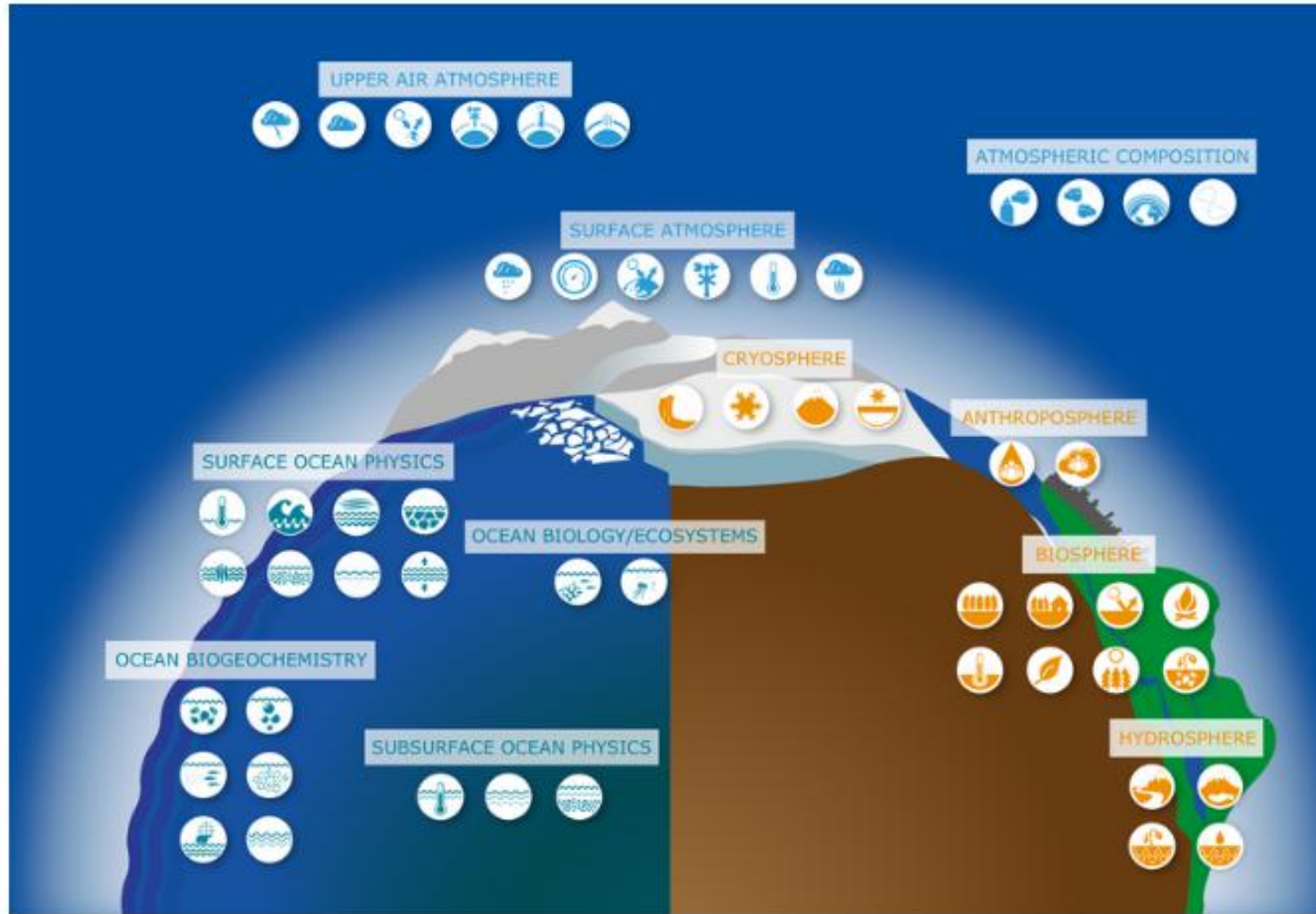
The Working Group I contribution was released on 9 August 2021. The Working Group II and III contributions were released on 28 February and 4 April 2022 respectively. The Synthesis Report was released on 20 March 2023.

Данные NCEP / NCAR по приповерхностной температуре воздуха в ячейках широтно-долготной сетки с шагом в 5° .

Разность средних температур за 2007-2018 гг. и 1948-1958 гг.



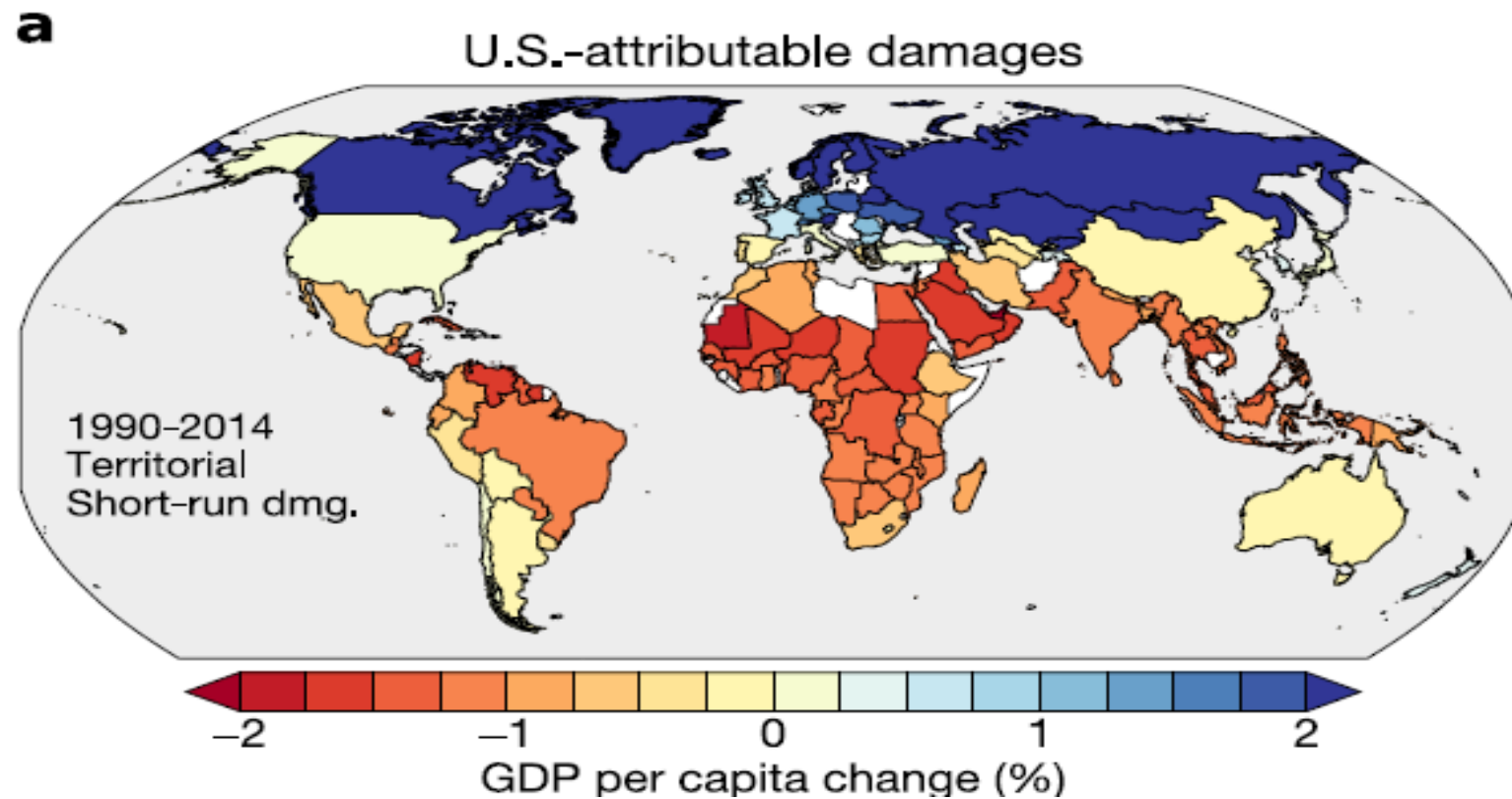
Essential Climate Variables



National attribution of historical climate damages

Christopher W. Callahan^{1,2} · Justin S. Mankin^{2,3,4}

- ¹ Graduate Program in Ecology, Evolution, Environment and Society, Dartmouth College, Hanover, NH, USA
- ² Department of Geography, Dartmouth College, Hanover, NH, USA
- ³ Department of Earth Sciences, Dartmouth College, Hanover, NH, USA
- ⁴ Ocean and Climate Physics, Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, Palisades, NY, USA

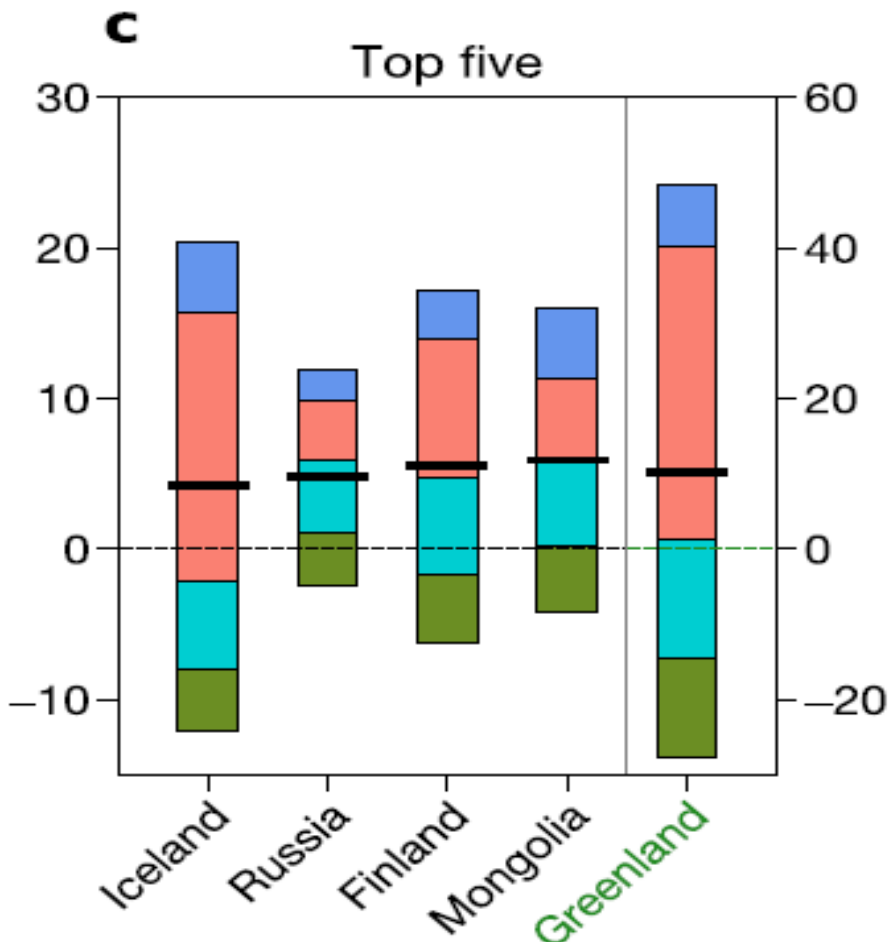
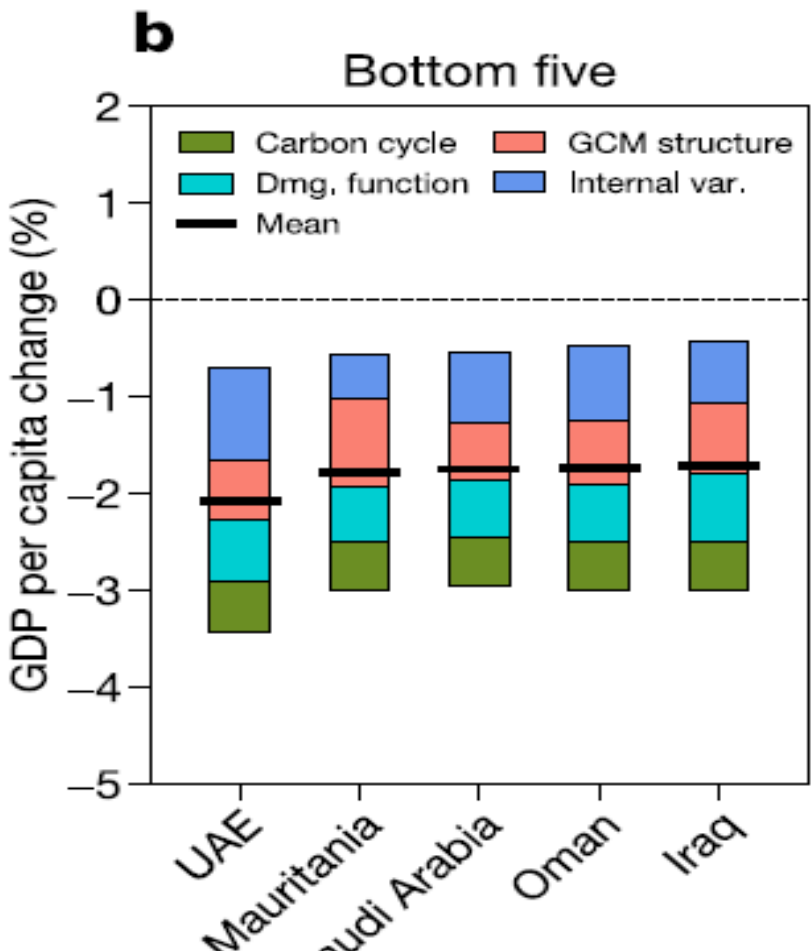




National attribution of historical climate damages

Christopher W. Callahan^{1,2} · Justin S. Mankin^{2,3,4}

- ¹ Graduate Program in Ecology, Evolution, Environment and Society, Dartmouth College, Hanover, NH, USA
- ² Department of Geography, Dartmouth College, Hanover, NH, USA
- ³ Department of Earth Sciences, Dartmouth College, Hanover, NH, USA
- ⁴ Ocean and Climate Physics, Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, Palisades, NY, USA



We find that the top five emitters (the United States, China, Russia, Brazil, and India) have collectively caused US\$6 trillion in income losses from warming since 1990

СВЕТЛАНА КРАВЧУК

ЕКАТЕРИНБУРГ

Кандидат искусствоведения,
заведующий проектно-исследовательской
лабораторией арктического дизайна
Уральского гуманитарного института
Уральского федерального университета

Грантополучатель
Российского научного фонда



НАУКА В ЛИЦАХ

Автор съёмки ИВАН КНЯЗЕВ

Арктика – это естественная
лаборатория, полигон
для проверки самых смелых
идей и технологий,
в центре которых – человек,
его выживание и благополучие



Московский
транспорт

90
ЛЕТ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КОРСОВЕТ

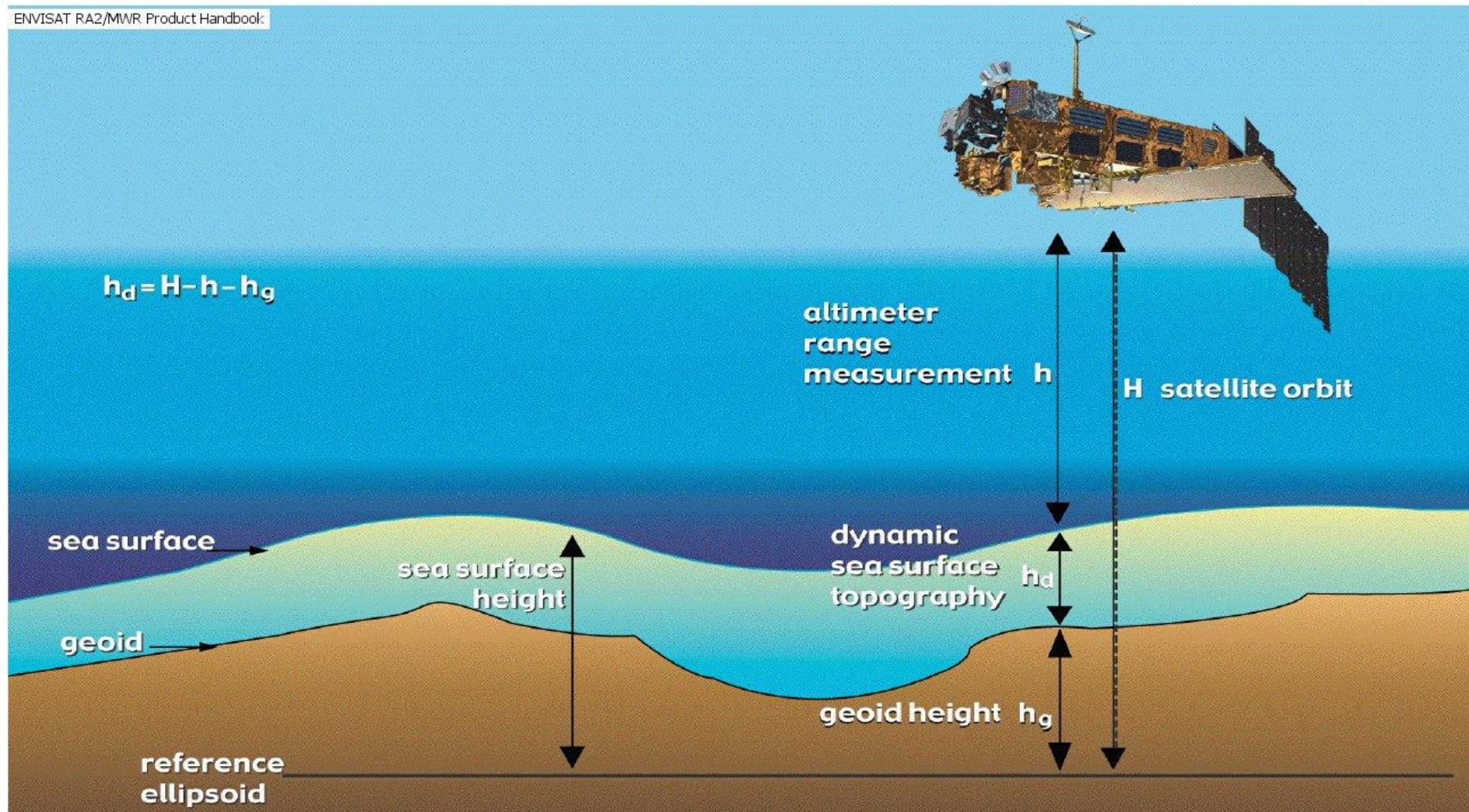


ЭНОБ.
enob.ru

СИБУР

<https://arcticdesign.school/arcticeyesdesigners>

Измерение динамической топографии океана (альтиметрия)

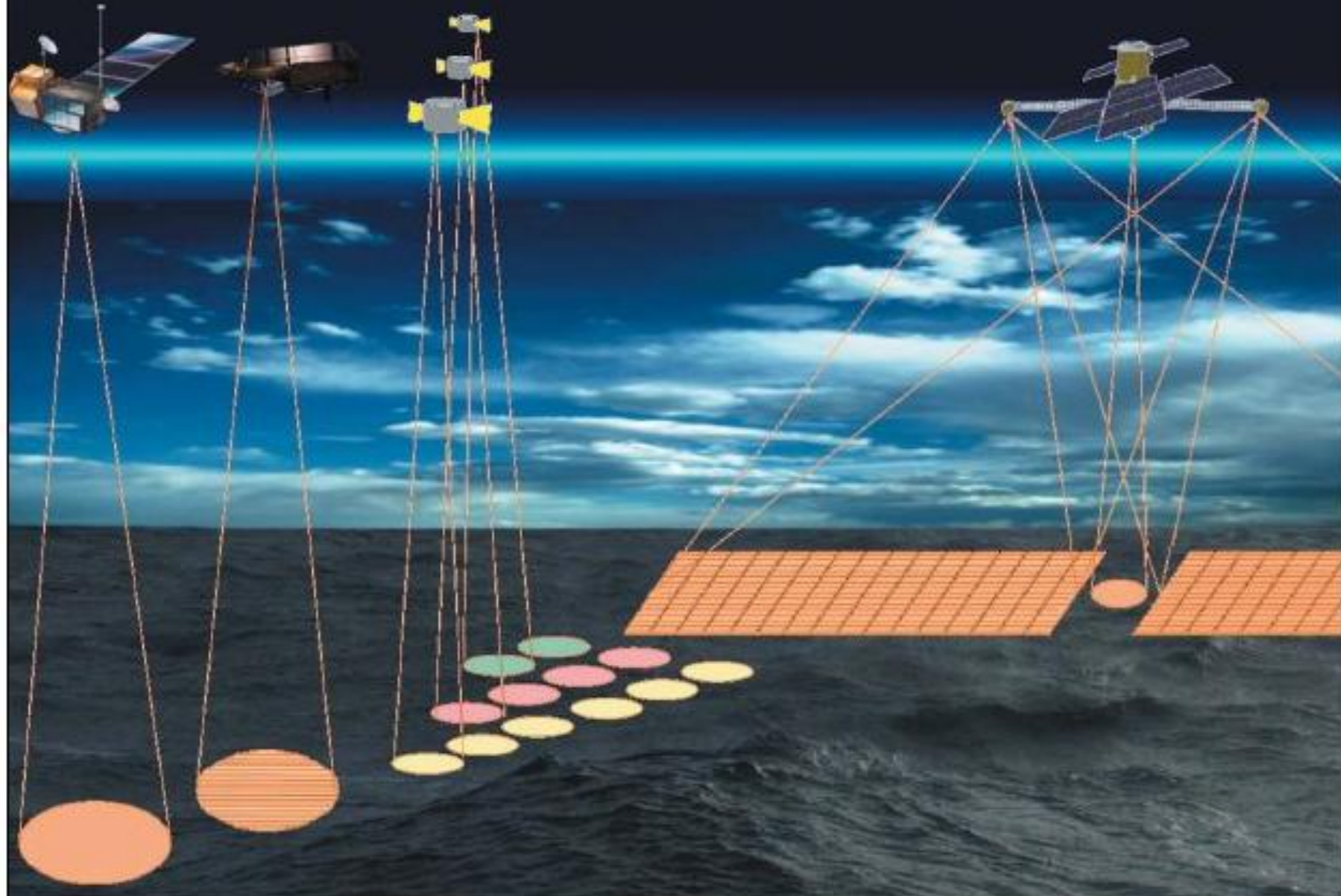


STANDARD
ALTIMETRY
TOPEX-
POSEIDON

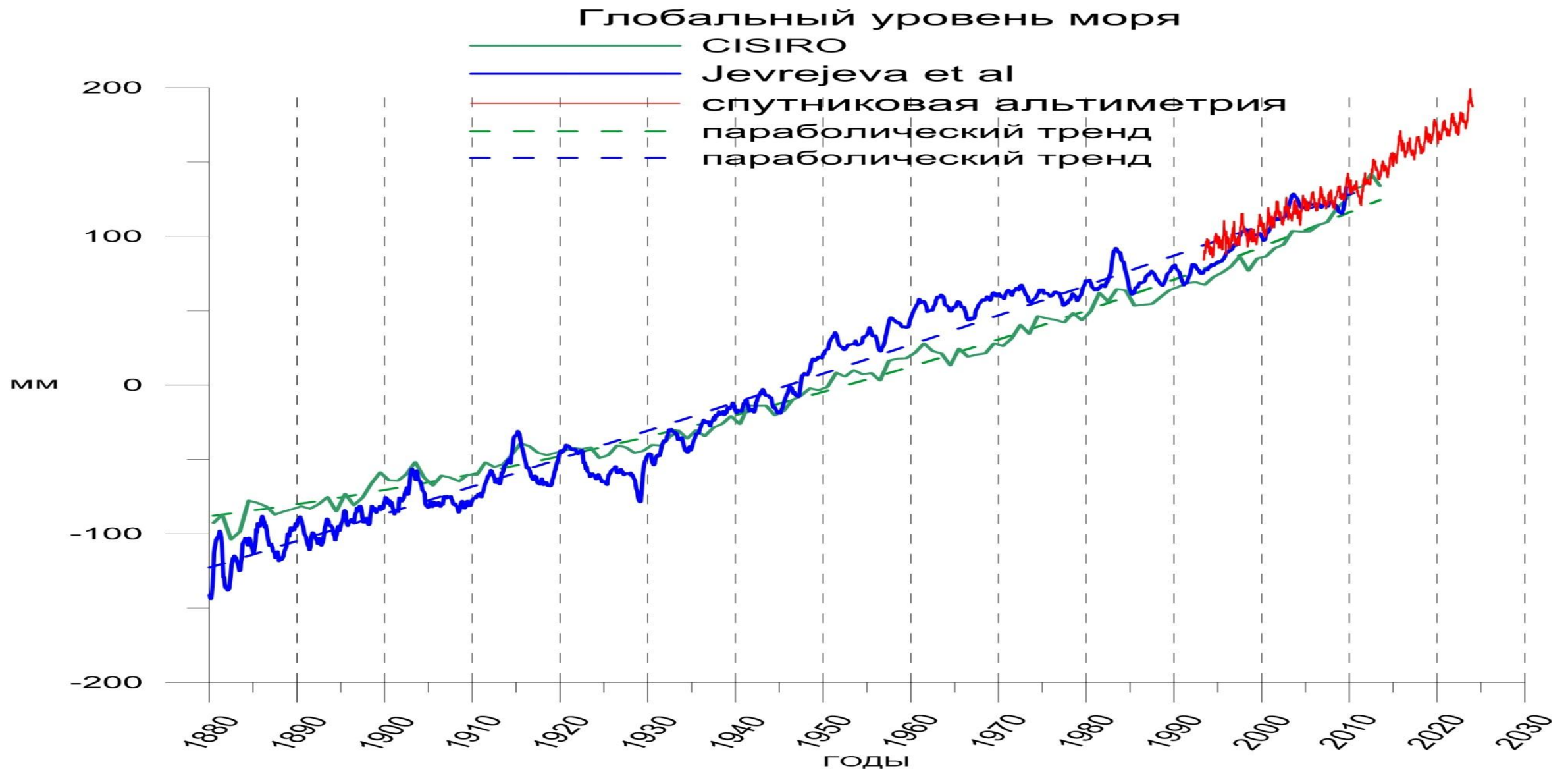
SAR
ALTIMETRY
CRYOSAT-2

DIFFERENTIAL
ALTIMETRY
GRAL
CONSTELLATION

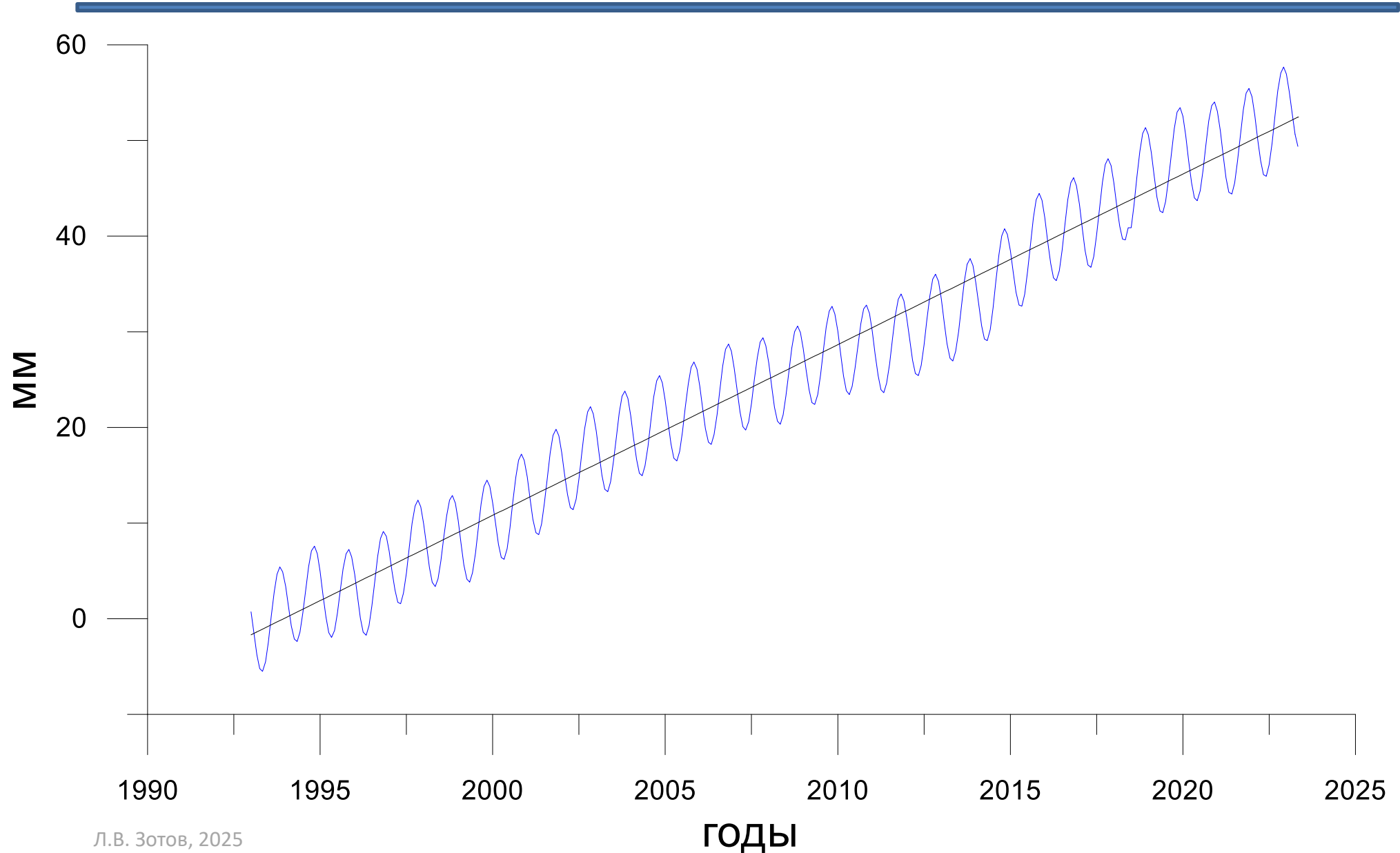
SWATH ALTIMETRY
SWOT



Глобальный рост уровня моря

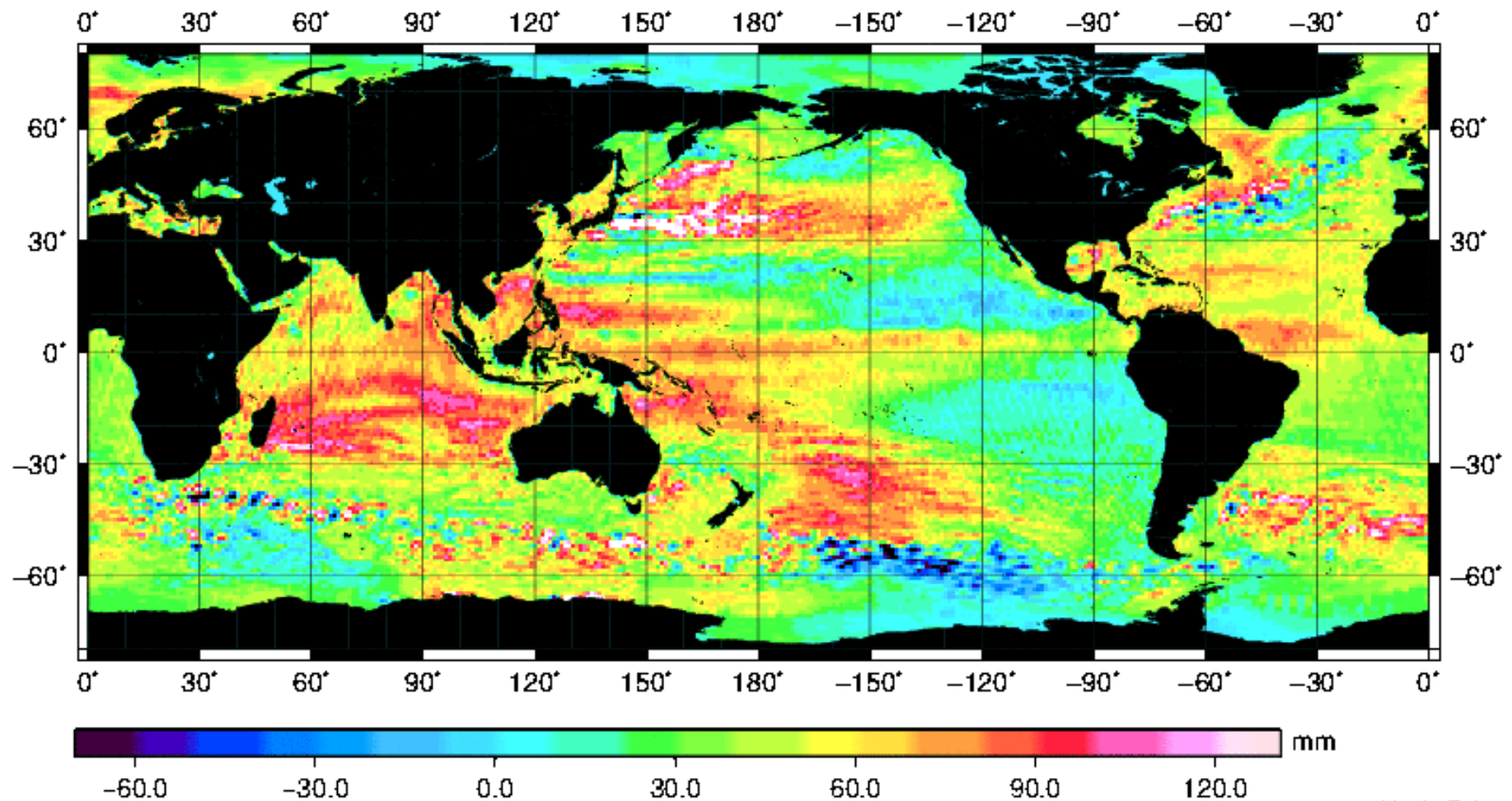


Изменения глобального среднего уровня моря по сводным данным альтиметрии



Изменения уровня моря с 1993 по 2018 г по сводным данным альтиметрии

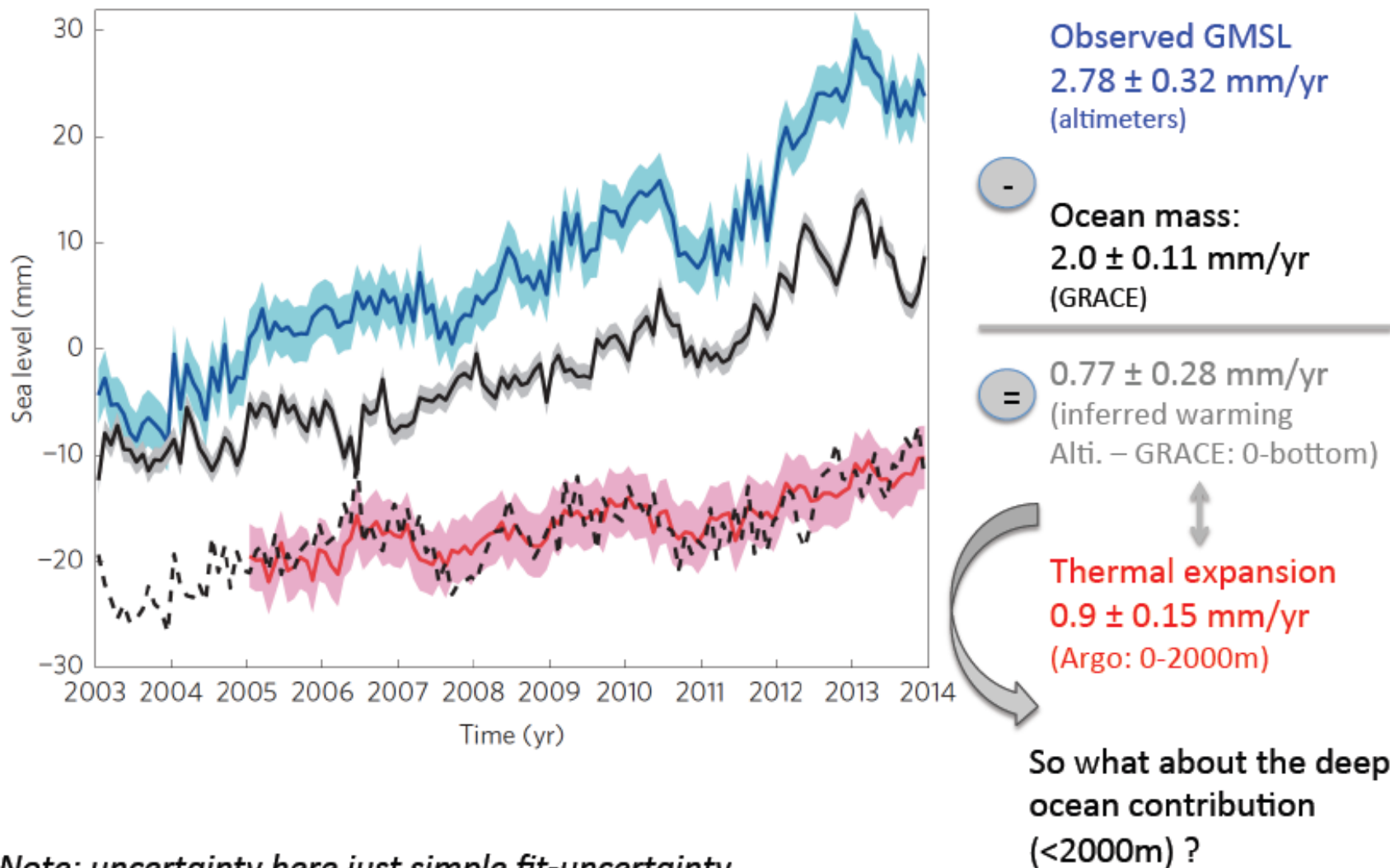
SL trend 2018-1993



processed by L. Zotov

Global mean sea level change (2005-2013): The budget

Изменения уровня моря = стерическая + массовая компонента



Note: uncertainty here just simple fit-uncertainty

W. Llovel, J.K. Willis, F.W. Landerer and I. Fukumori

Как померить массу океана?

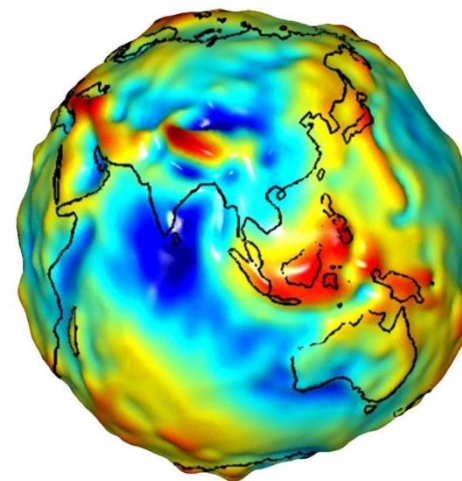


Спутники-близнецы GRACE
Gravity Recovery And Climate Experiment

ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ МОРЯ

Стерическая
компонента

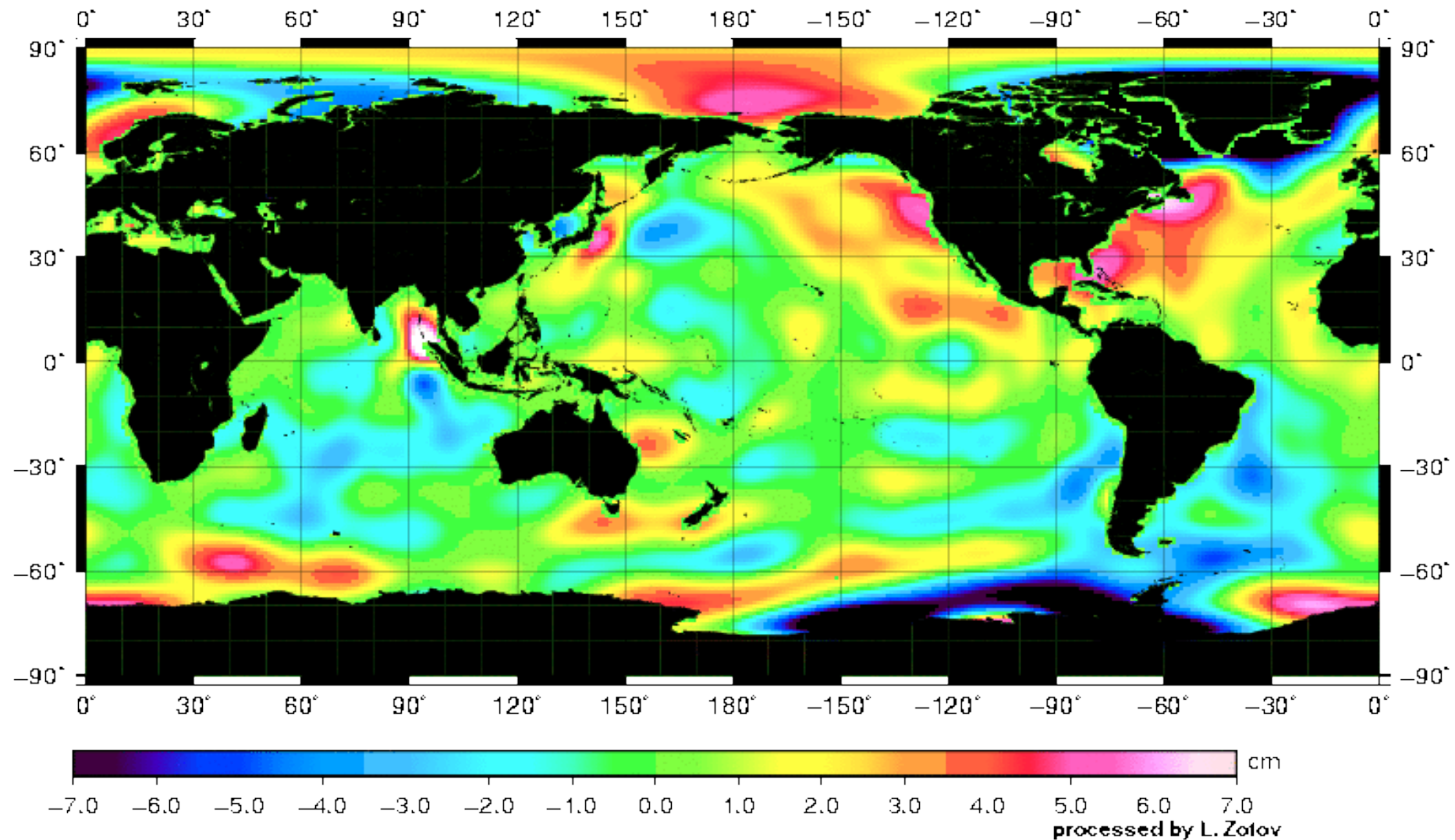
Нестерическая
компонента



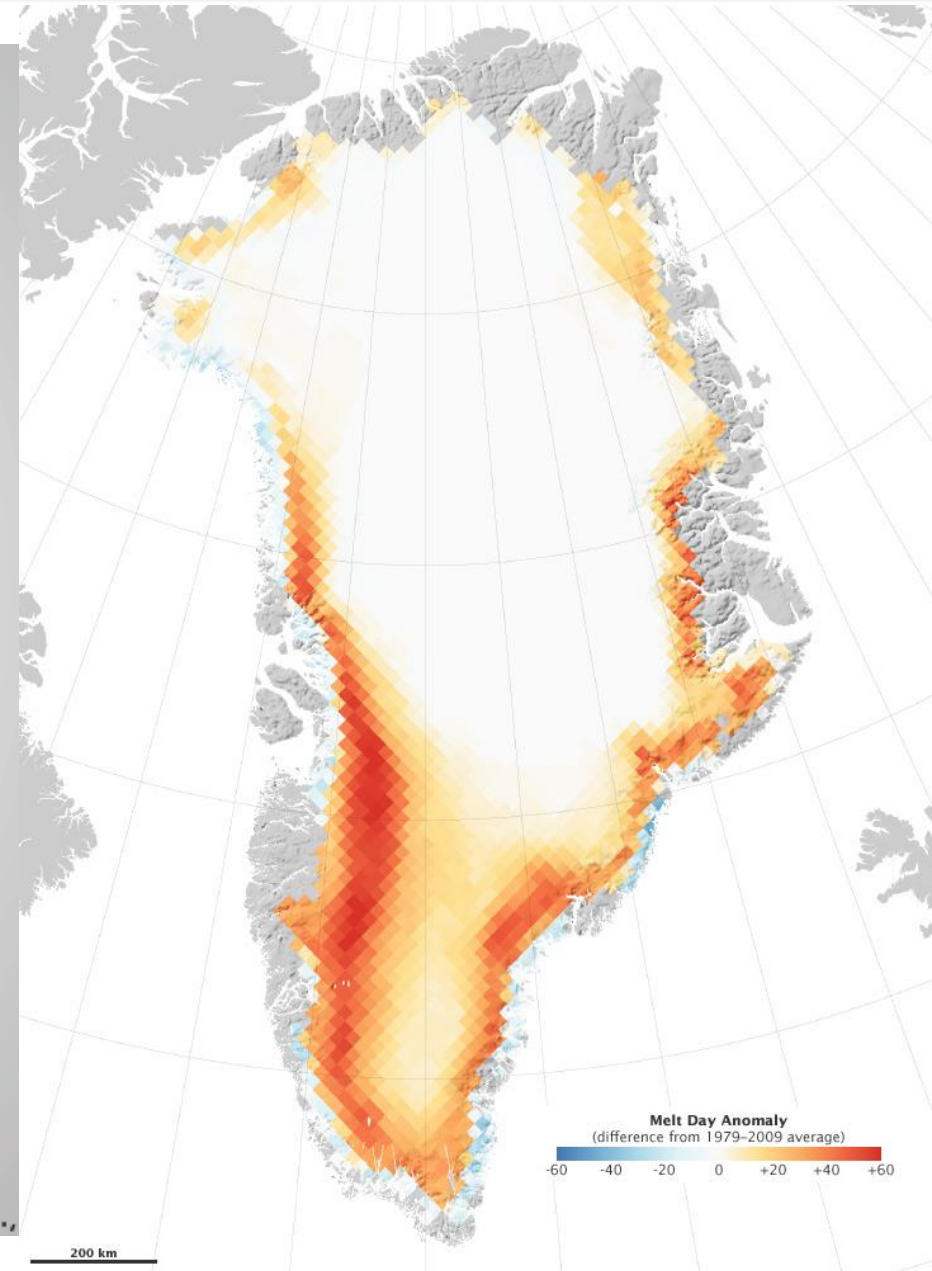
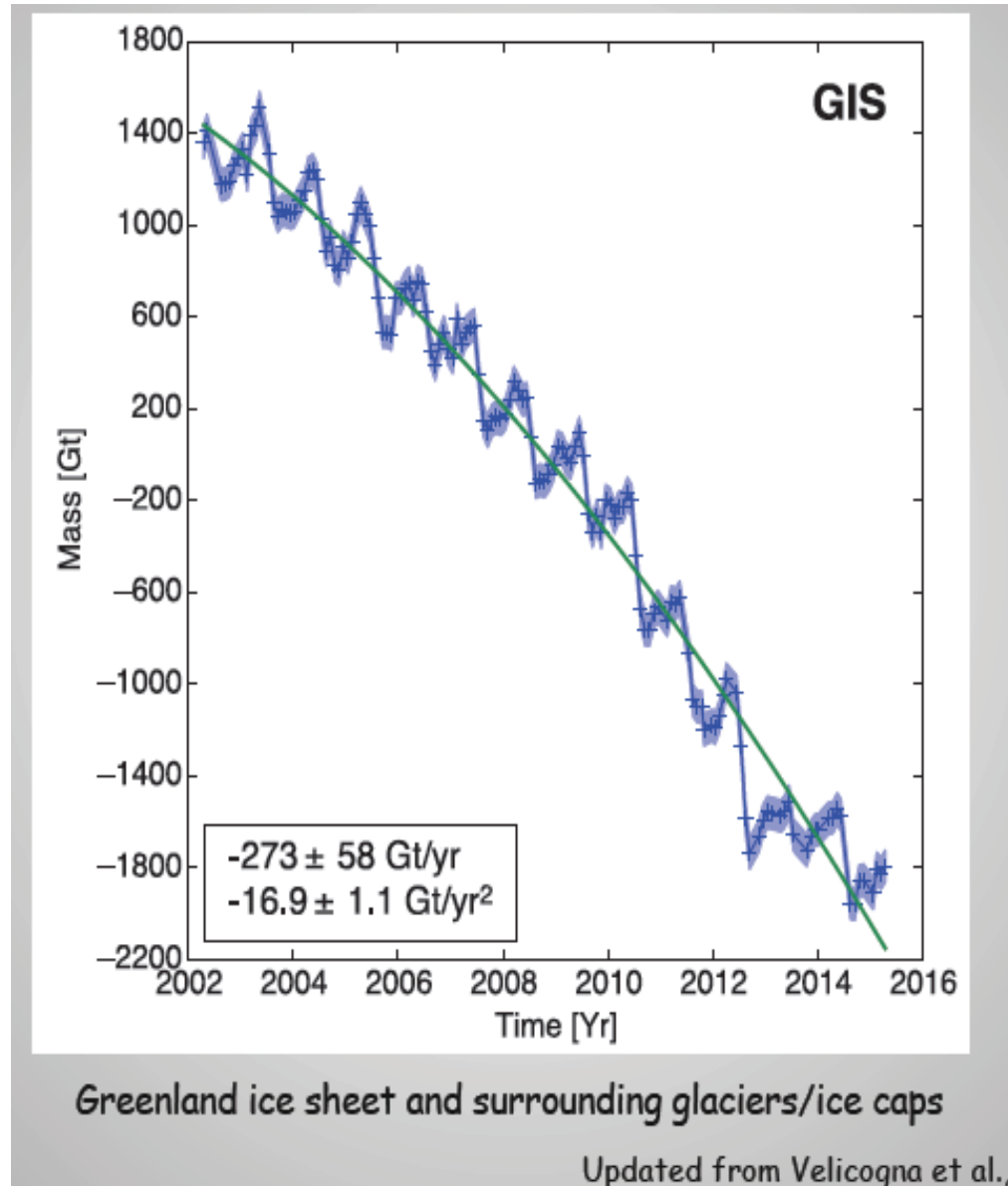
Визуализация гравитационной
модели Земли по данным GRACE

Тренды придонного давления по данным GRACE Ocean Bottom Pressure (PC 1), Don Chambers data

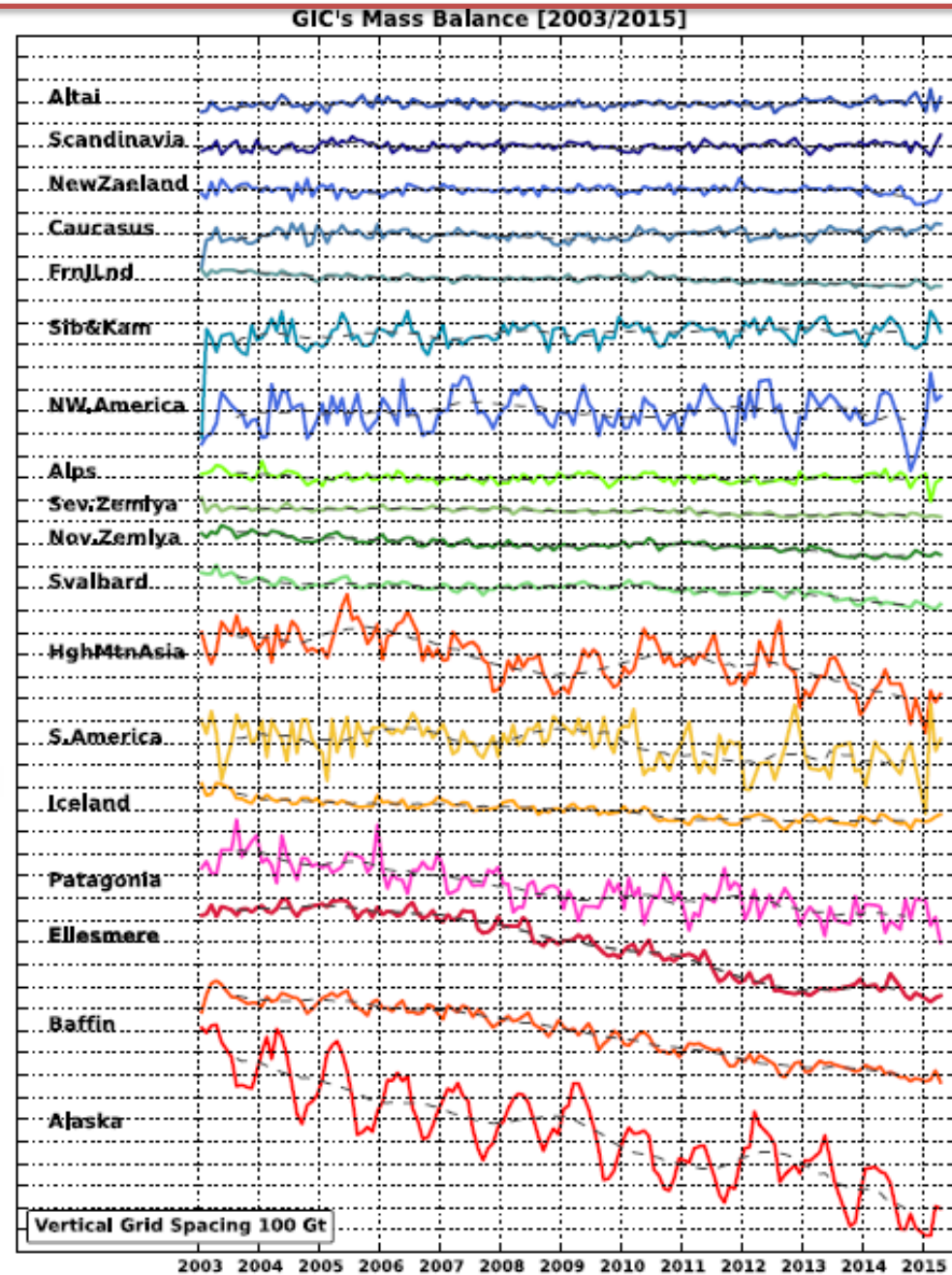
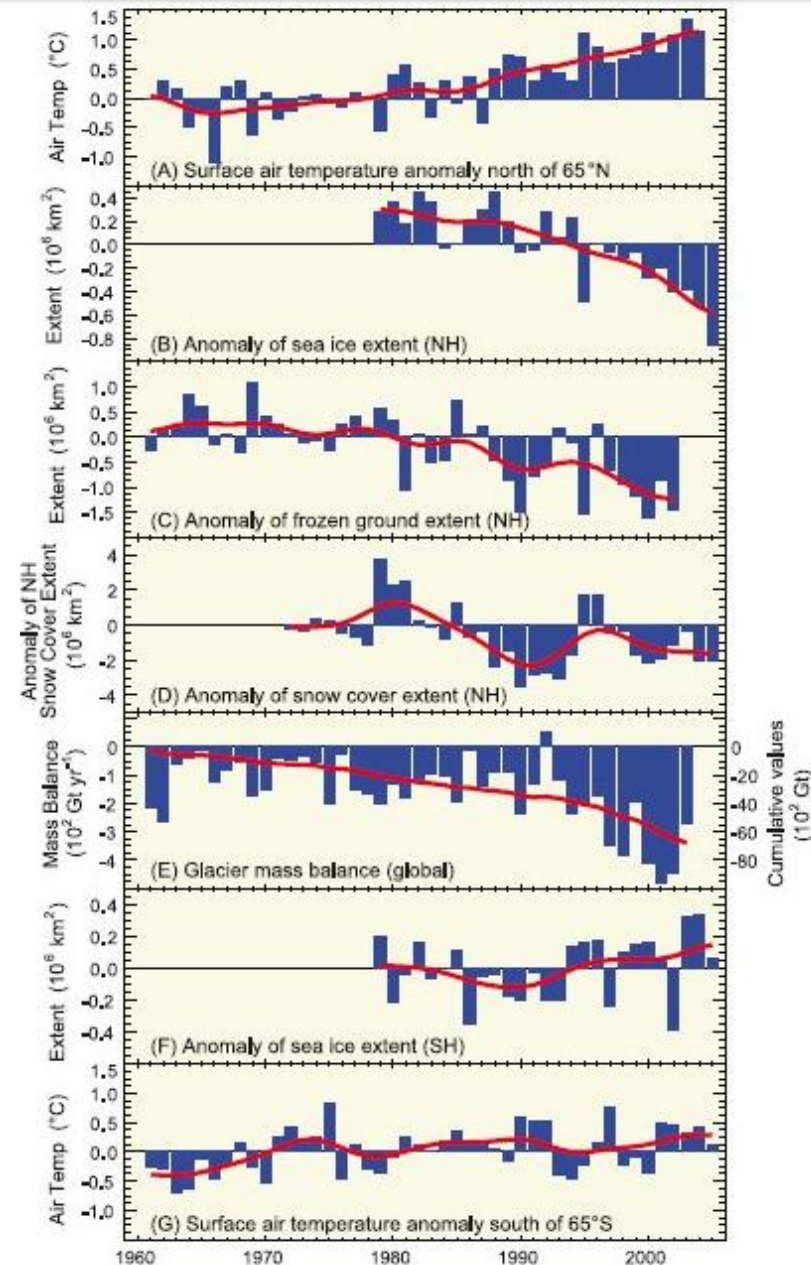
PC 1 2003-2015



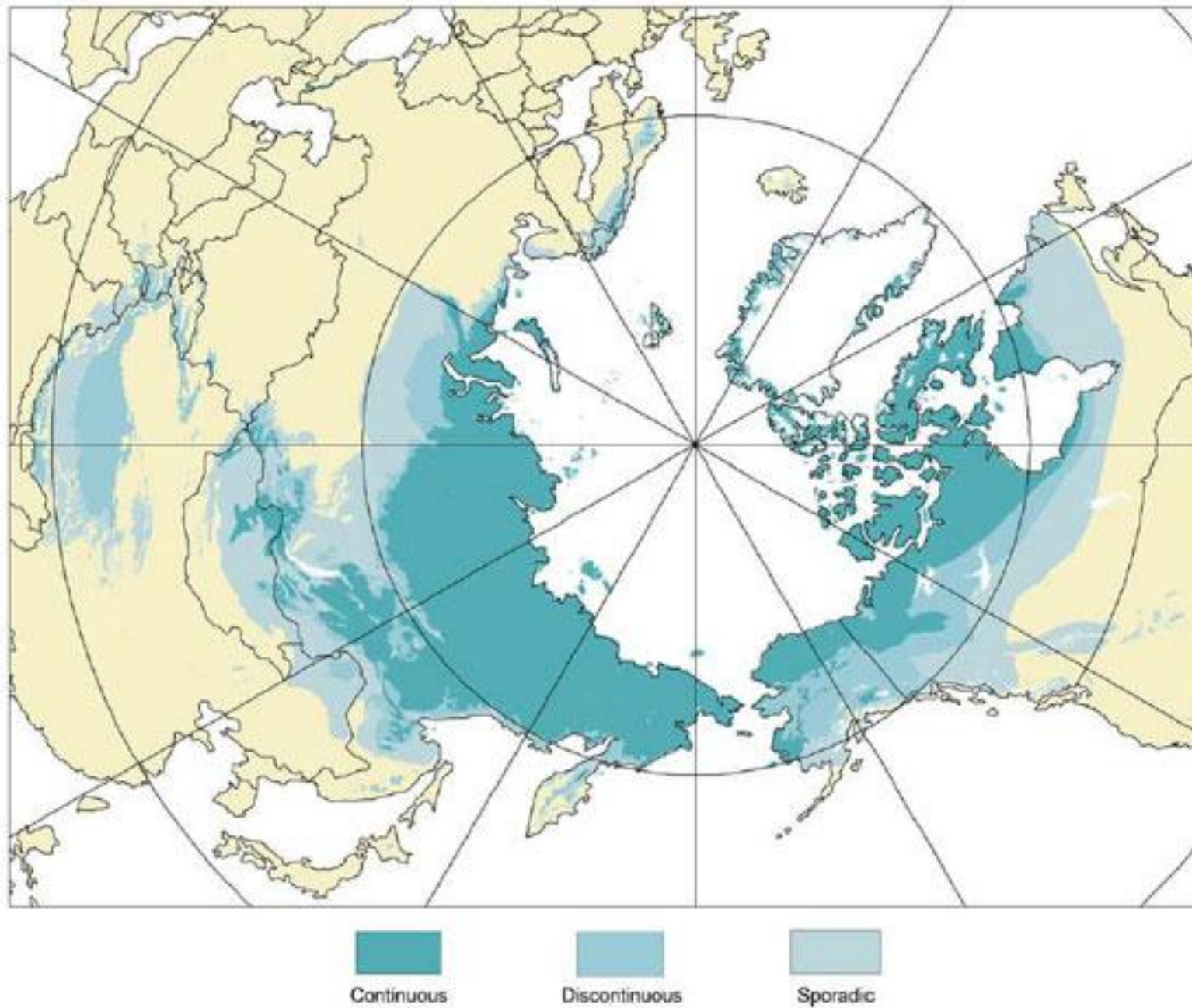
Гренландия 1979-2017



Ледники



Вечная мерзлота

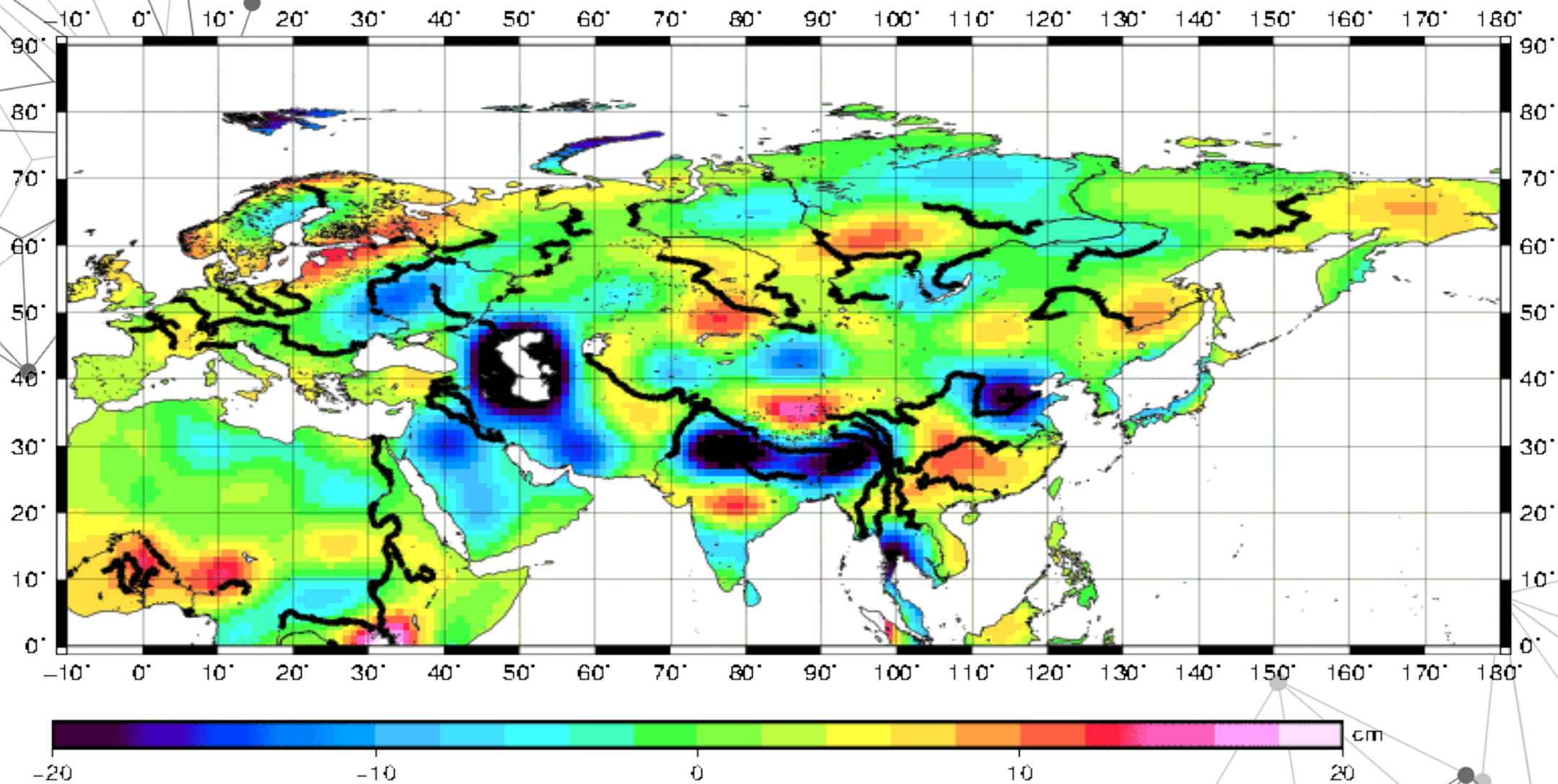


Оползень Батагайка в Якутии

120м на 1,5км



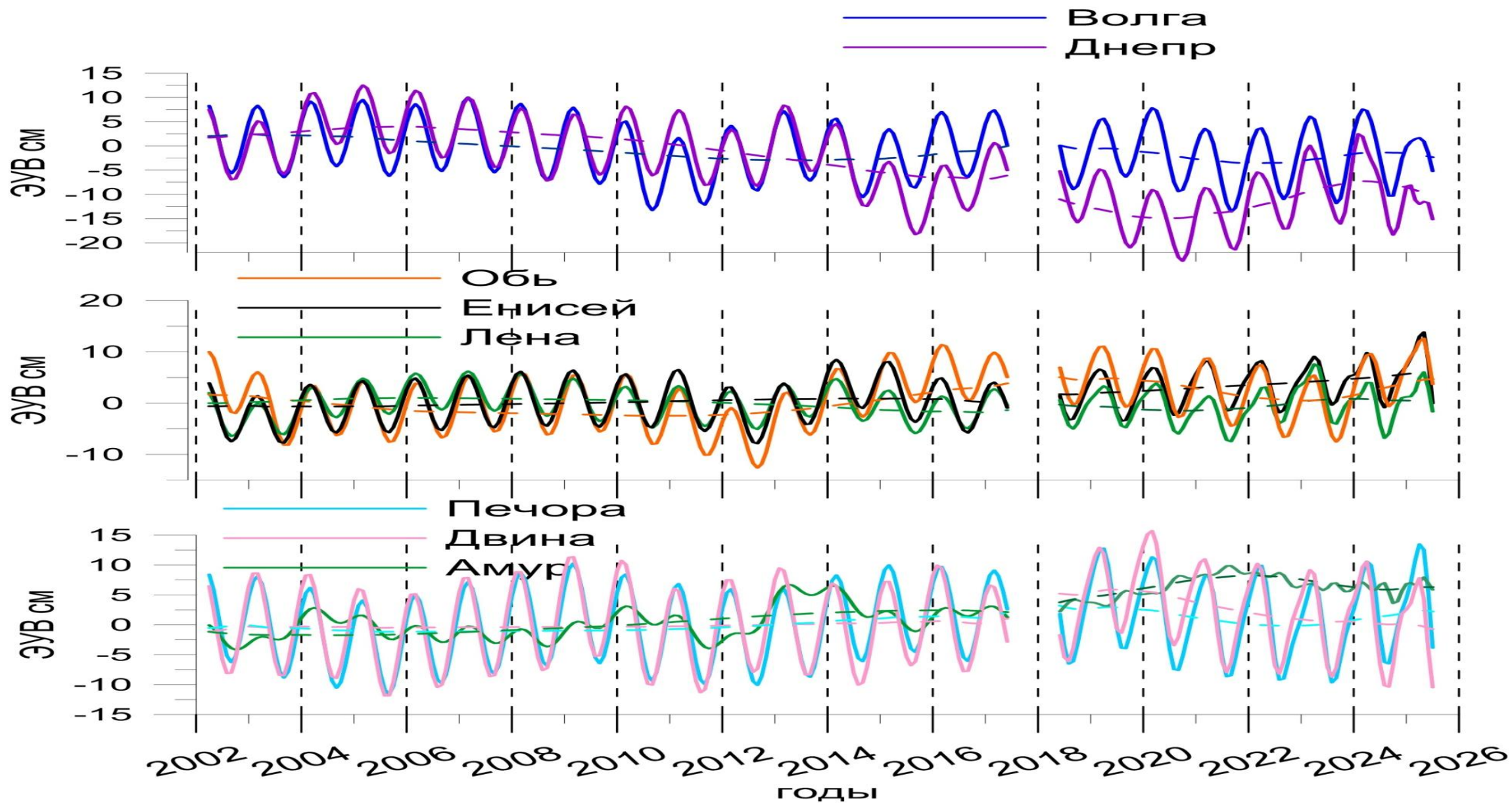
2017-2003 RL 06



processed by L. Zotov

Тренды изменения масс с 2003 по 2017 год по данным GRACE

Изменения масс в бассейнах рек России

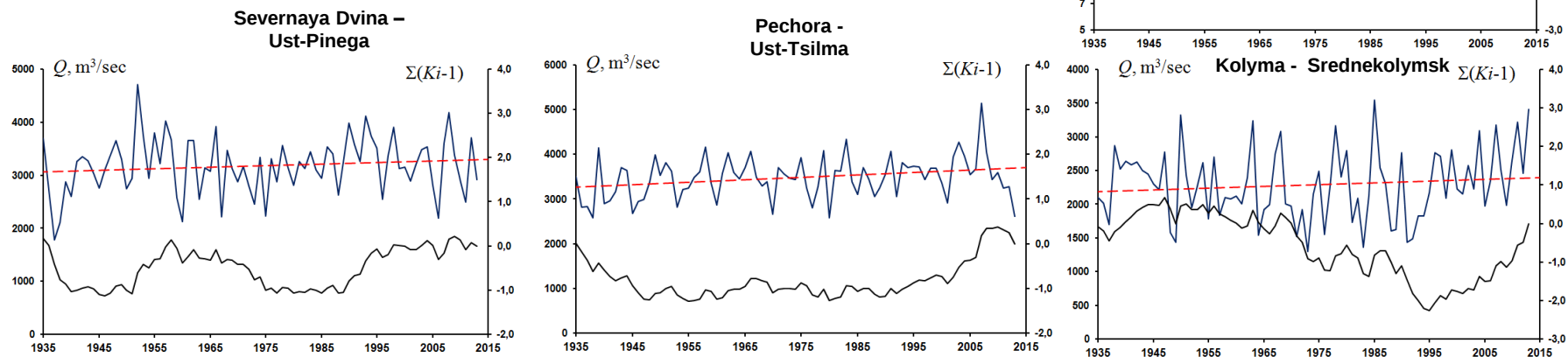


Долговременные изменения годового стока рек

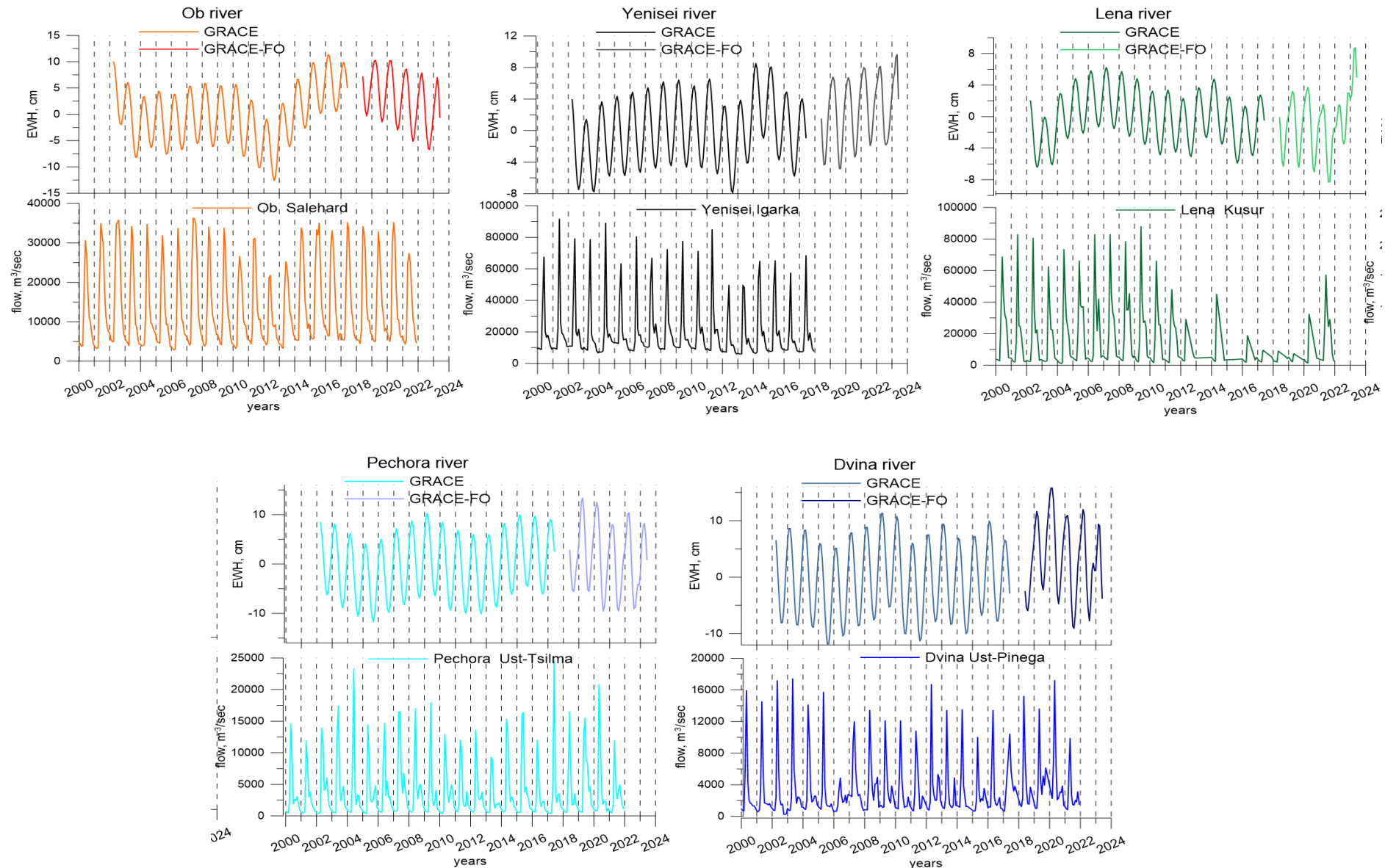
River – hydrometric station	$\Delta W_Q / \Delta y^*$	The linear trend coefficient, km ³ /1year	
		1935-2013	1975-2013
Sev.Dvina - Ust-Pinega	+5.3%/+15mm	+0.098	+0.091
Mezen - Malonisogorskaya	-1.7%/-6mm	+0.005	+0.029
Pechora - Ust-Tsilma	+4.6%/+20mm	+0.173	+0.184
Ob - Salekhard	-0.4%/-0.7mm	+0.089	-0.089
Yenisey - Igarka	+5.4%/+13mm	+0.696	+0.922
Olenek - Sukhana	+12.2%/+21mm	+0.066	+0.113
Lena - Kyusyur	+7.4%/+16mm	+1.080	+2.214
Yana – Jiangky/Yubileynaya	+12.8%/+18mm	-	-
Kolyma - Srednekolymsk	+4.6%/+9mm	+0.081	+0.451

Изменения годового стока за 1976-2013 в сравнении со
стоком за 1935-1975

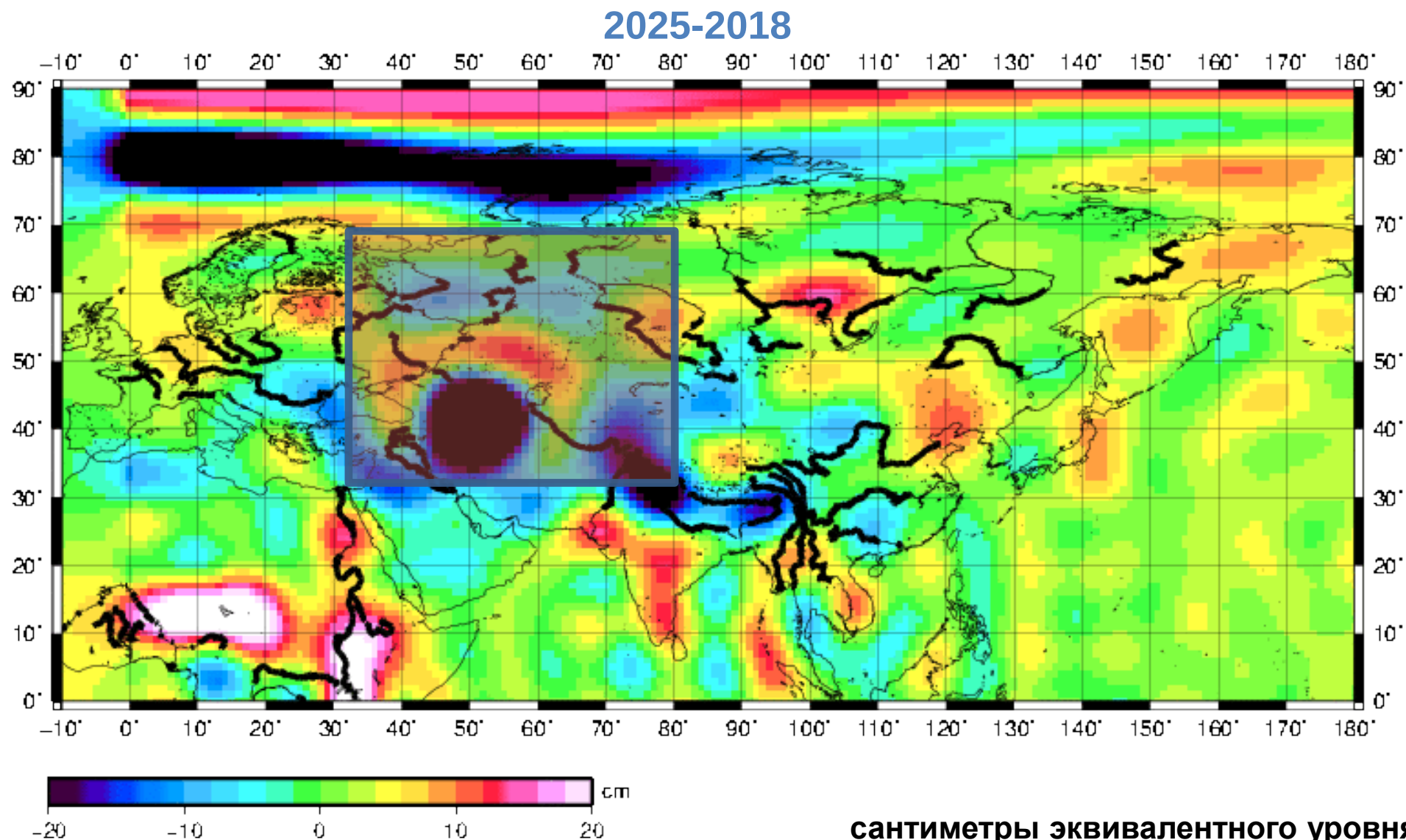
Данные Н.Л. Фроловой



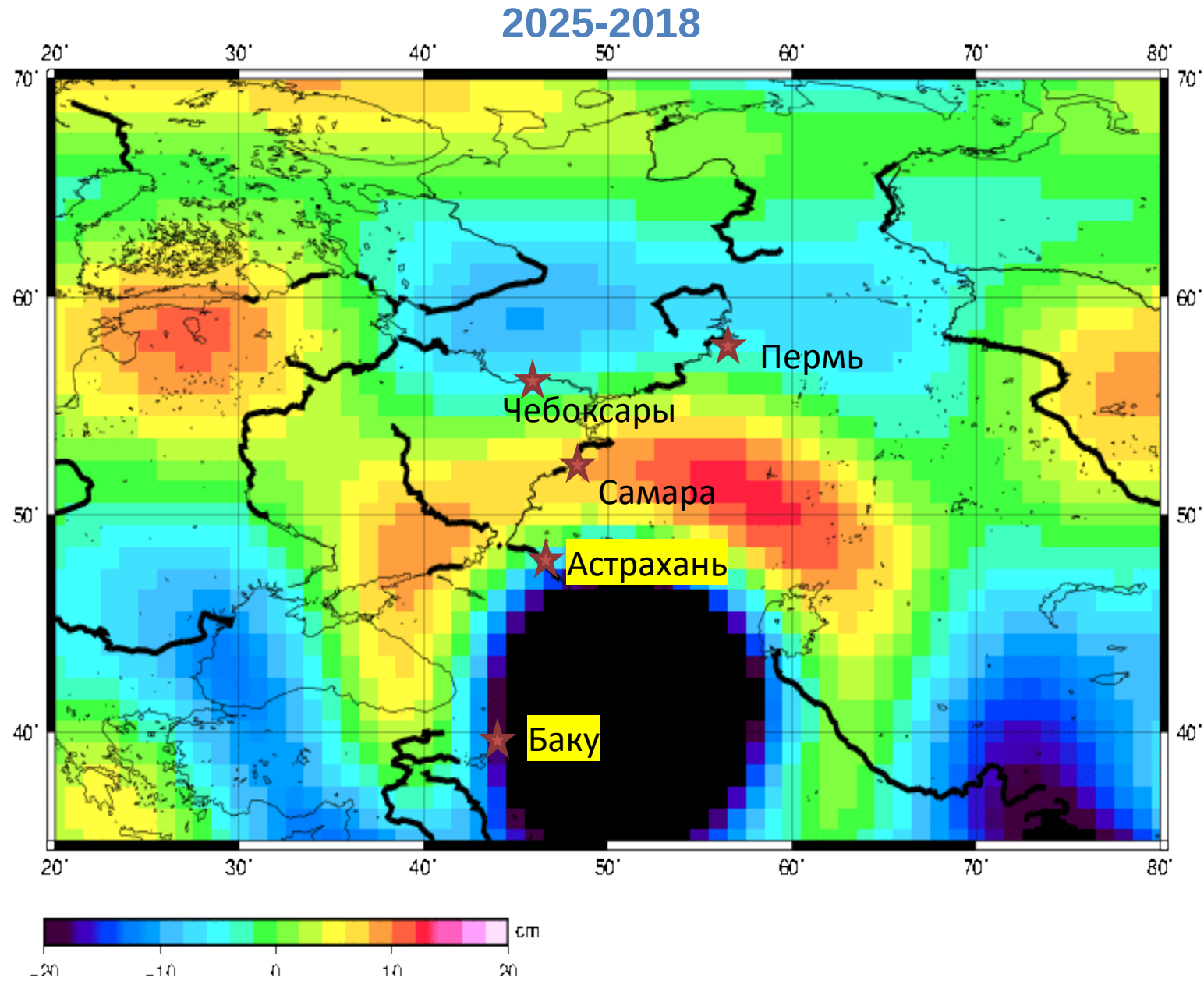
Сравнения данных GRACE и GFO с показаниями гидрологических постов

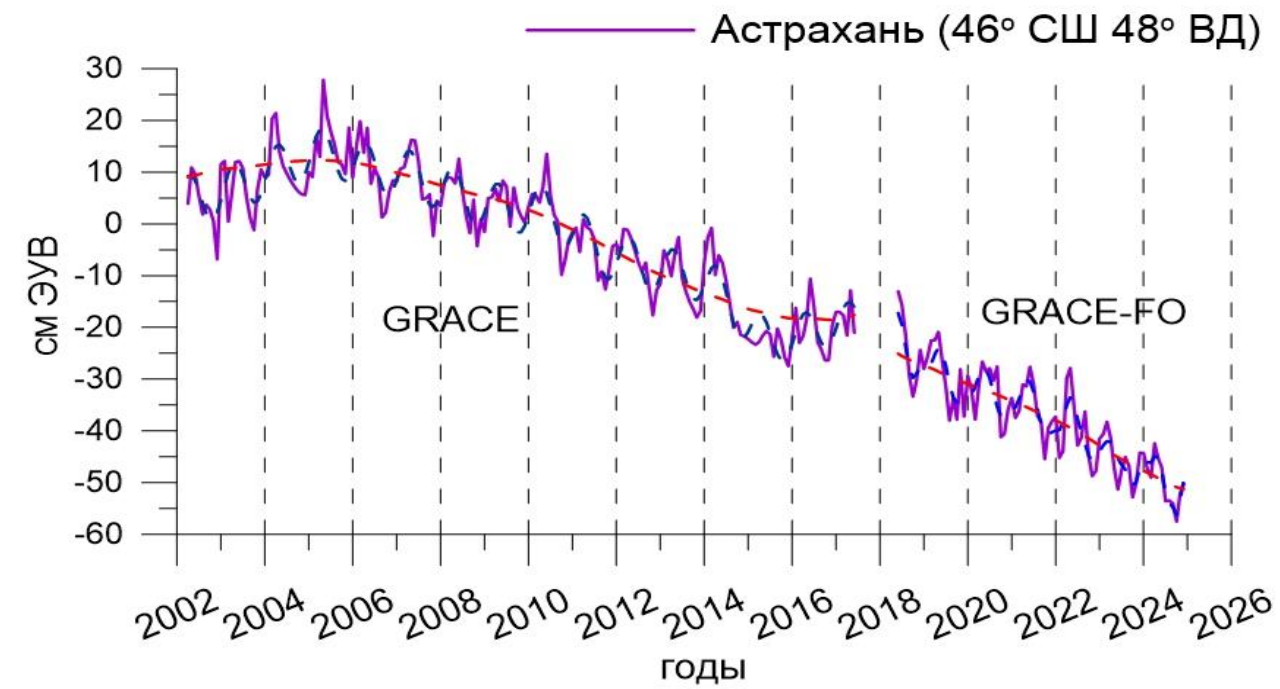
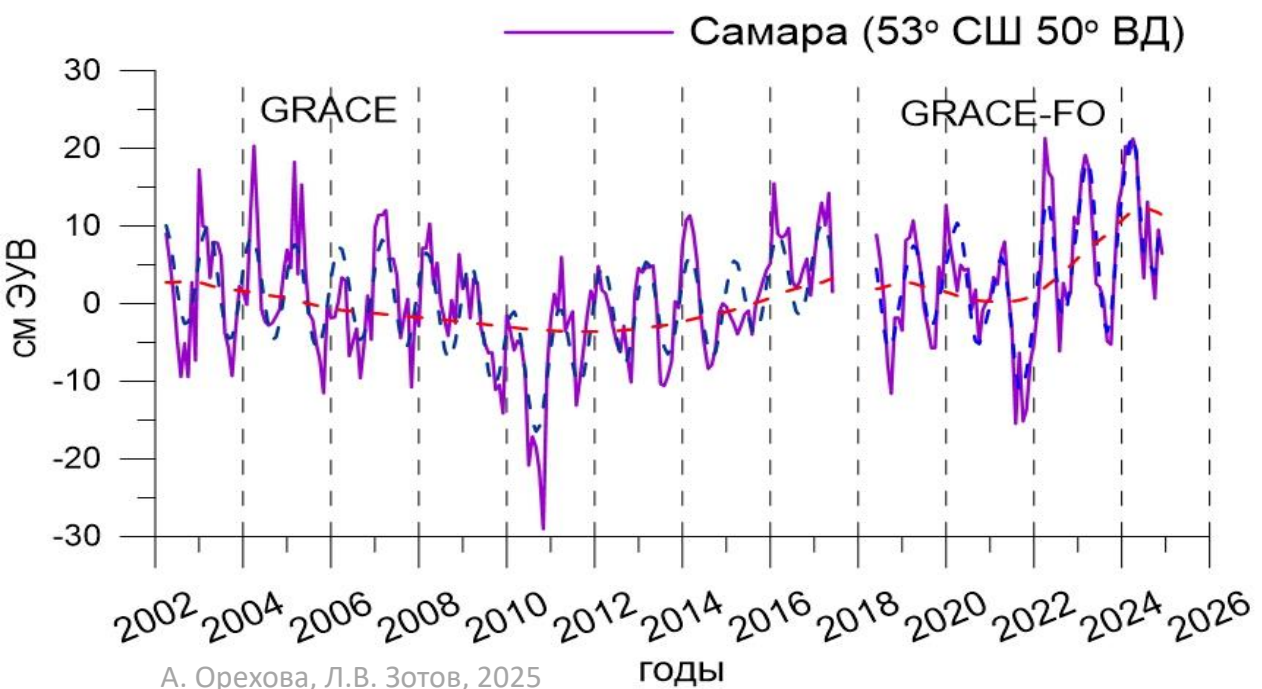
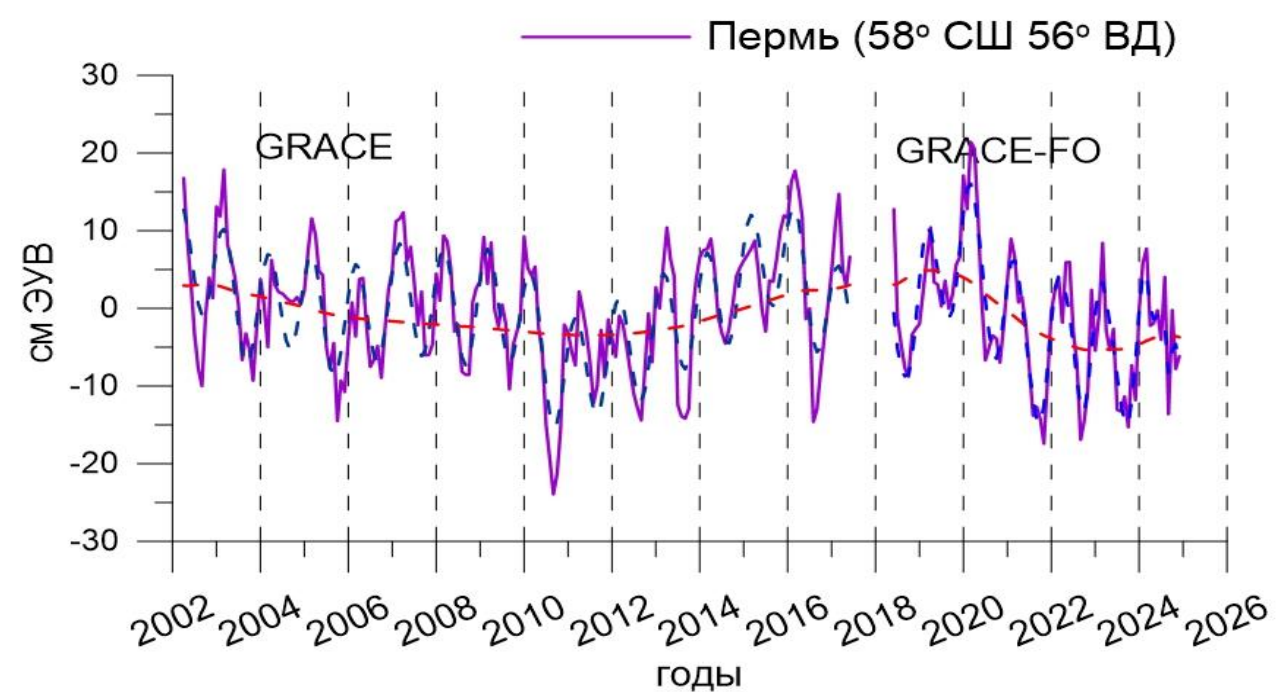
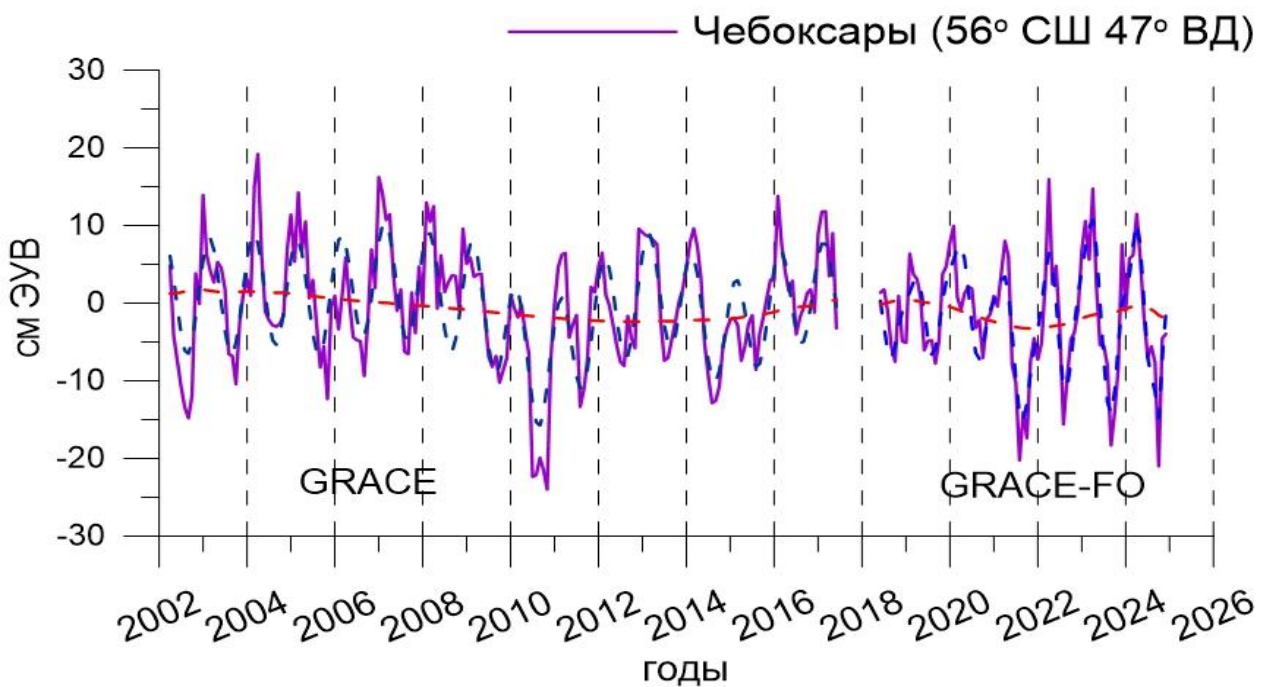


Тренды перераспределения масс Евразии по GRACE-FO

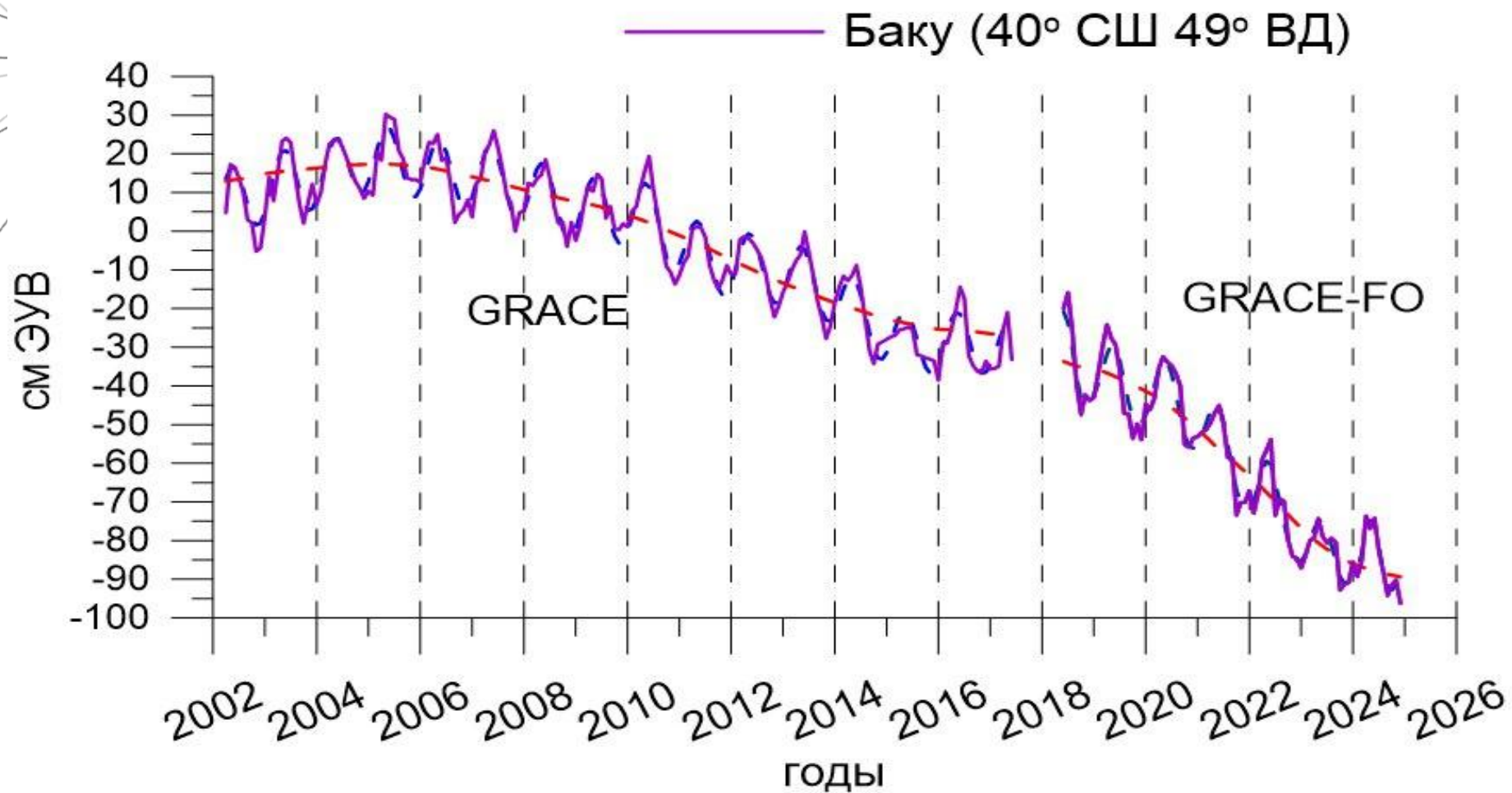


Аномалии масс по GRACE-FO от 20° до 80° В.Д. от 30° до 70° С.Ш.



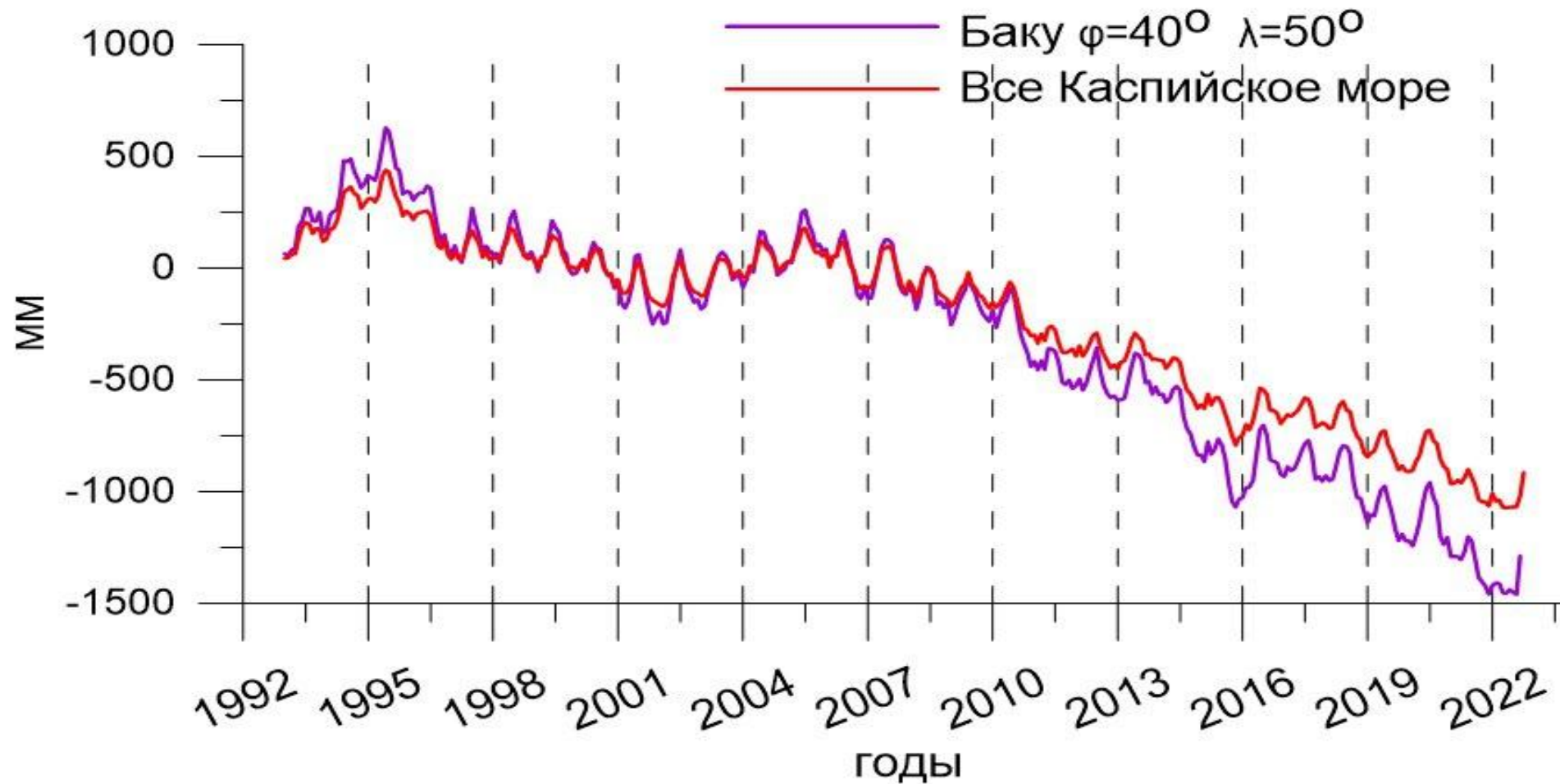


Аномалии масс по GRACE и GRACE FO в точке с координатами 40° с.ш. 49° в.д.



Пространственное разрешение данных
GRACE 300x300 км

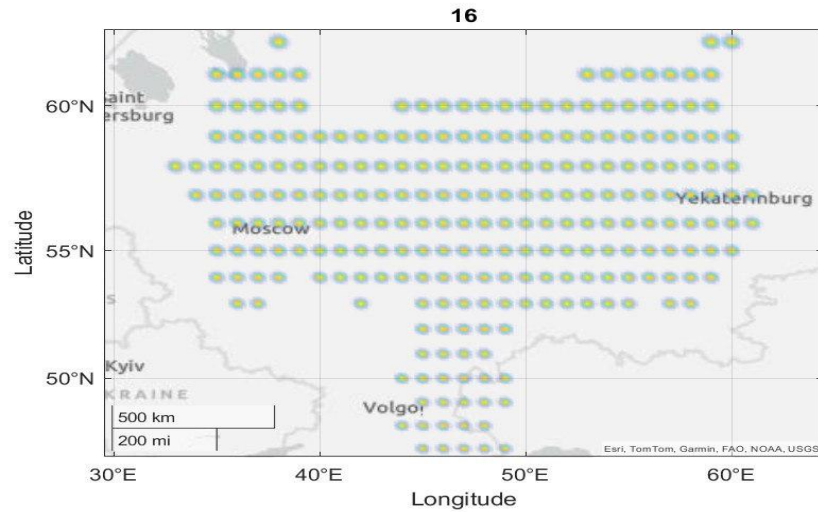
Данные спутниковой альтиметрии



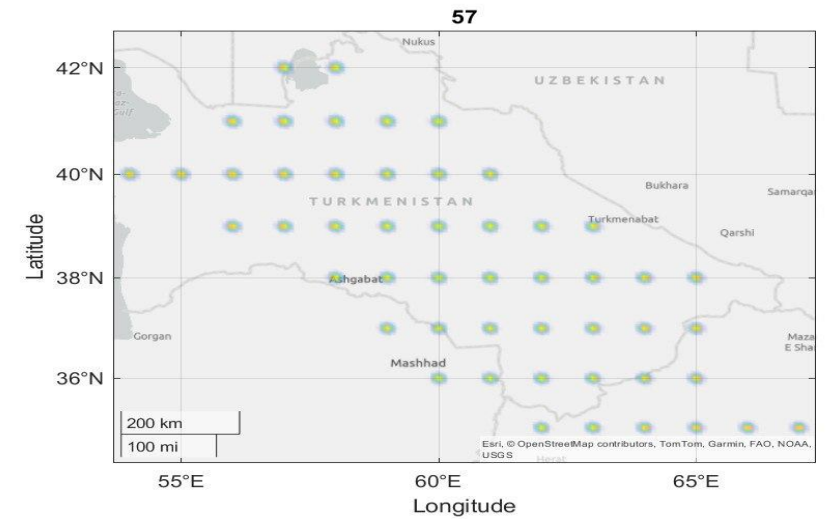
При уровне -28 м площадь
составляет около 376 км^2
Значит каждые 10 см уровня
– $37,6 \text{ км}^3$ воды

В 2005 году уровень -26,9 м
В 2022 году уровень -28,1 м

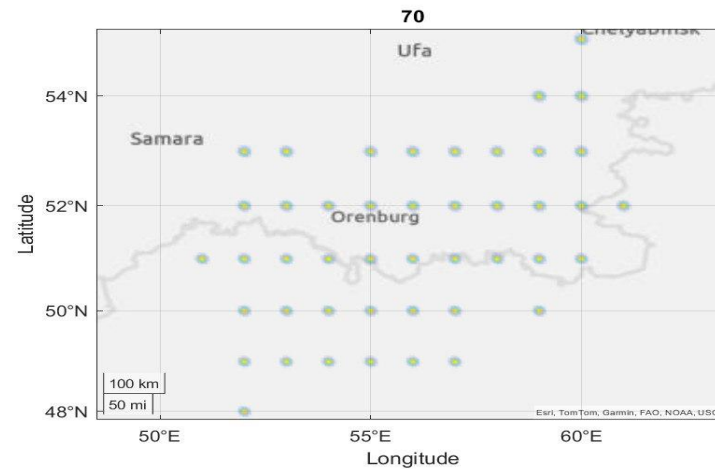
Бассейны рек по базе данных STN-30r



Бассейн реки Волга

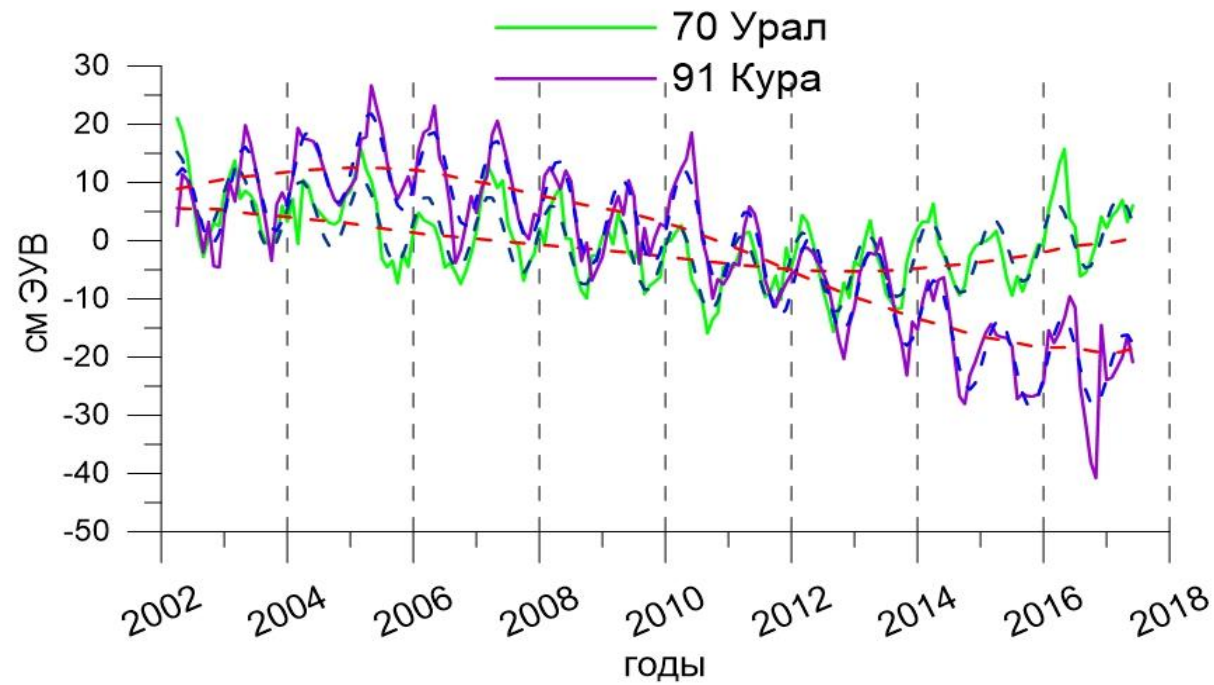
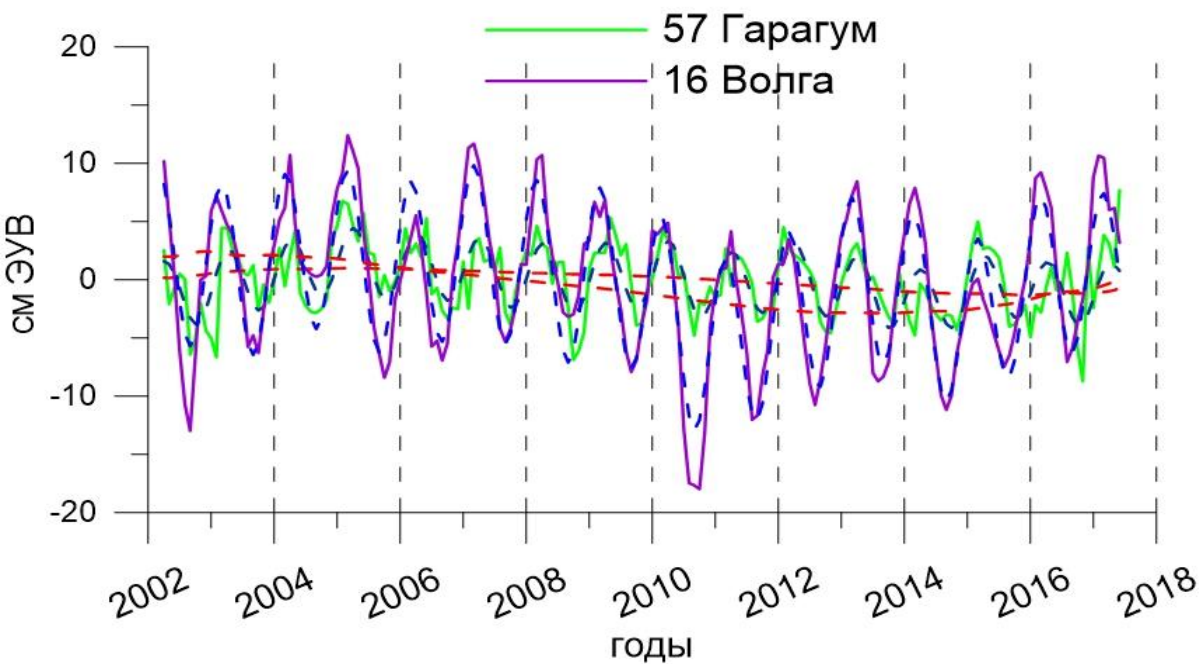
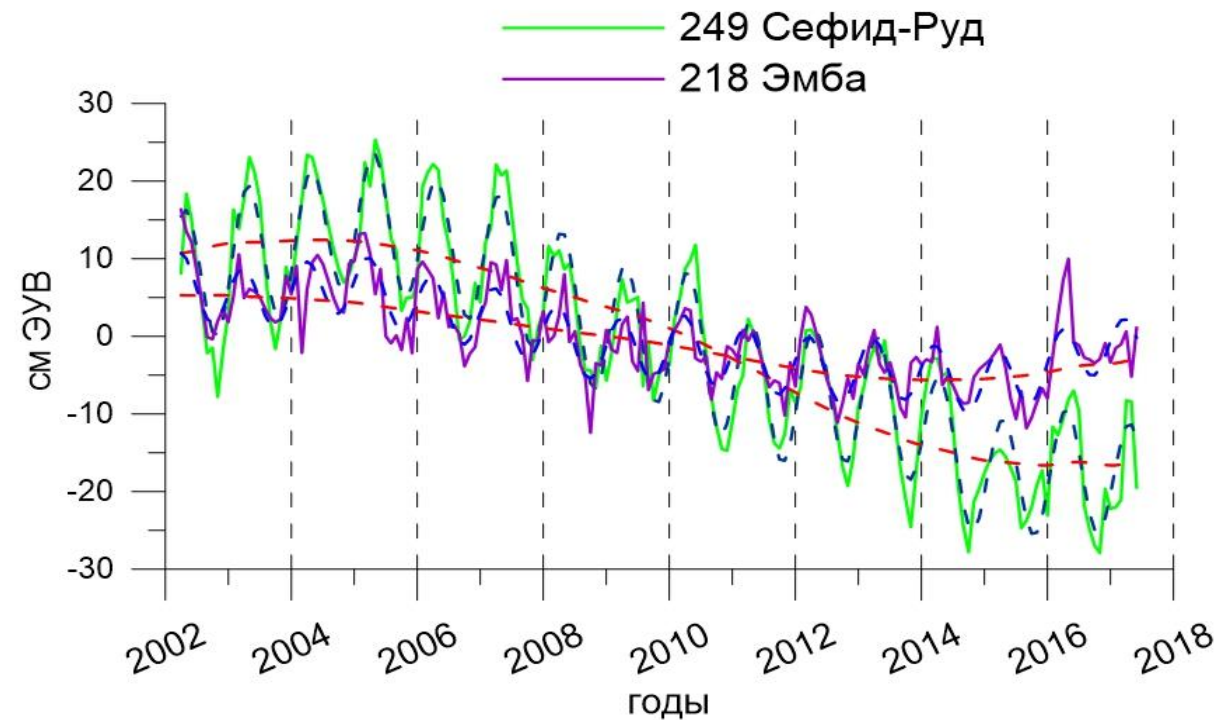


Бассейн реки Гарагум

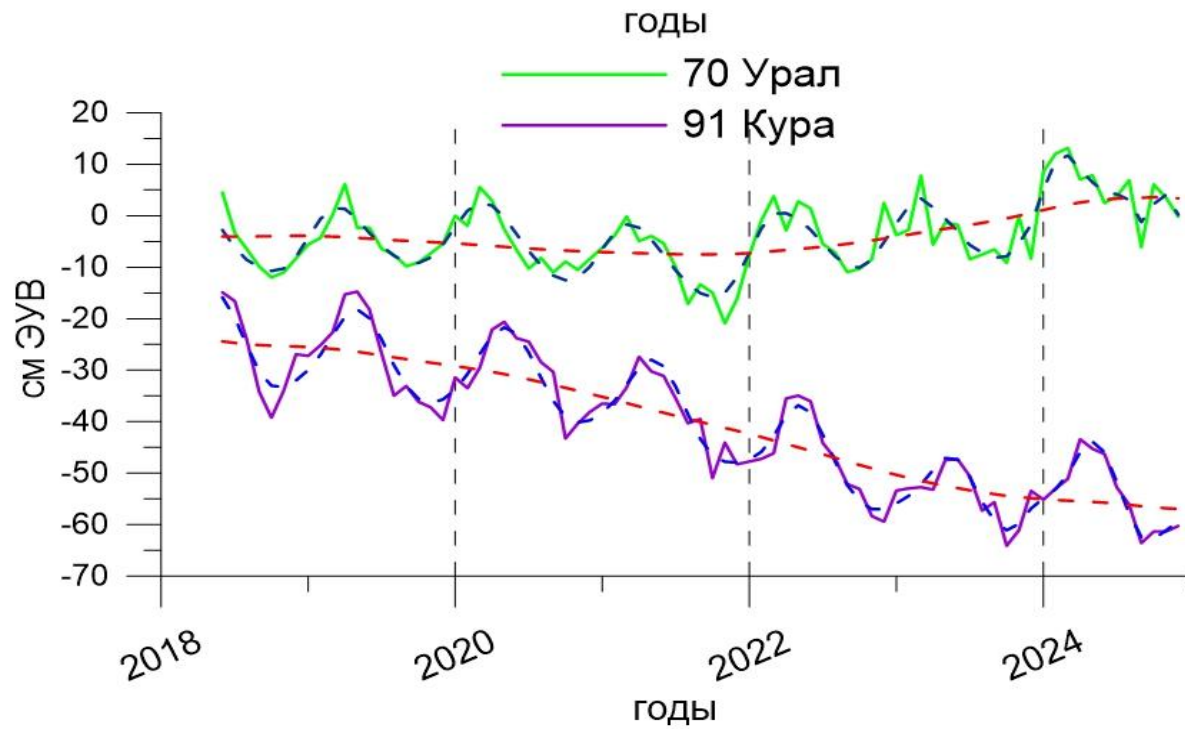
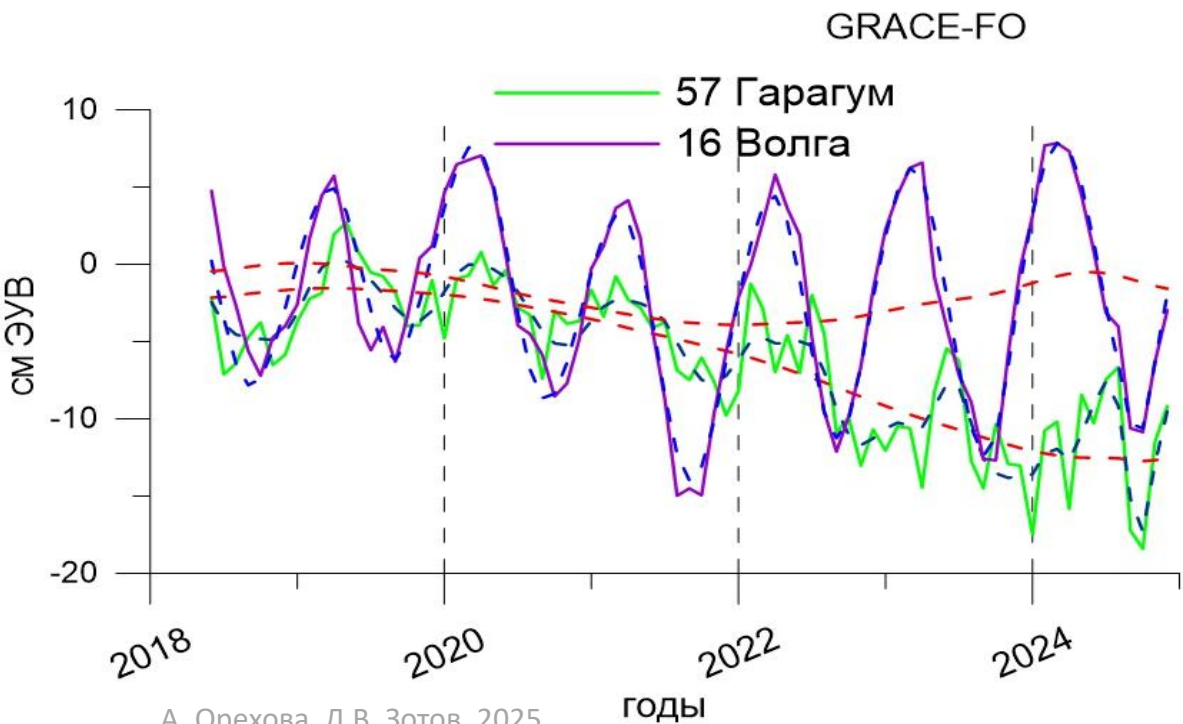
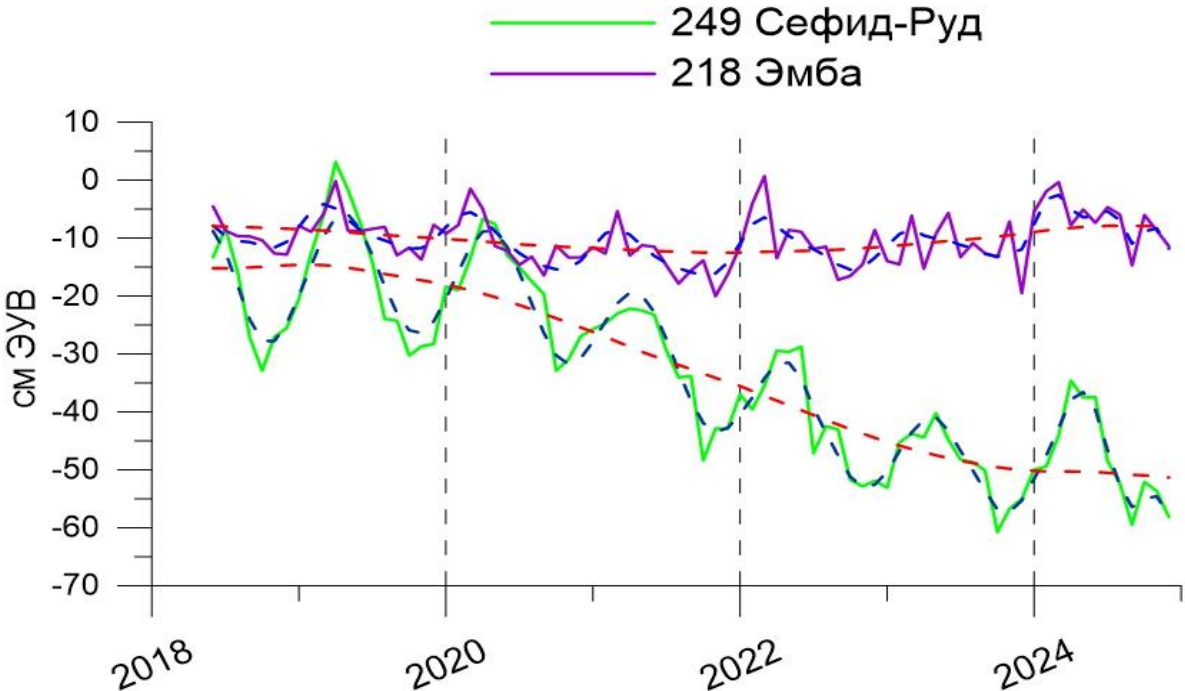


Бассейн реки Урал

Номер бассейна STN	Название	Площадь бассейна	Тренд ЭУВ по GRACE (см/год)	Тренд GRACE (км ³ /год)
16	Волга	1476411,375	-0,18	-2.65 ± 1.56
57	Гарагум	373942,9688	-0,08	-0.32 ± 0.19
70	Урал	296282,8125	-0,57	-1.69 ± 0.32
91	Кура	218906,0469	-2,52	-5.51 ± 0.29
218	Эмба	72975,84375	-0,84	-0.61 ± 0.05
249	Сефид-Руд	64653,16406	-1.45	-1.58 ± 0.08



Номер бассейна STN	Название	Площадь бассейна	Тренд ЭУВ по GRACE-FO (см/год)	Тренд GRACE-FO (км^3/год)
16	Волга	1476411,375	-0.32	-4.78 ± 1.32
57	Гарагум	373942,9688	-1.86	-6.96 ± 0.73
70	Урал	296282,8125	-0,57	-3.59 ± 1.13
91	Кура	218906,0469	-5.89	-12.89 ±0.88
218	Эмба	72975,84375	-0.01	0.00 ± 0.19
249	Сефид-Руд	64653,16406	-6.87	-4.44 ± 0.33



Влияние на вращение Земли

Високосная секунда: как на скорость вращения планеты влияет китайская плотина



Плотина «Три ущелья» в Китае
© iStock

Зотов Л.В.



Курсовая работа

Ореховой А. А.

Баку 2025

Поскольку LOD определяется как длительность средних солнечных суток, требуется домножение угловой скорости относительно звезд на коэффициент $k = 1.002737909350795$.

Подставляя значения получаем:

$$\omega * \underline{k} = 7.272205216643854 \times 10^{-5} \text{ рад/с}$$

Тогда изменение длительности суток можно найти как

$$\Delta LOD = 2\pi k / \omega - 2\pi k / \Omega$$

Откуда, при подстановке выше названных значений, получим:

$$\Delta LOD \approx 9.7 \times 10^{-6} \underline{\text{с}}$$

Таким образом, потери 376 Гигатонн воды, какую мы наблюдаем для Каспия за ~10 лет, продолжительность суток сократится приблизительно на 9.7 микросекунды.

По сравнению с напумевшей новостью за авторством Бена Чао о замедлении вращения Земли на 0.06 мкс китайской дамбой “Три ущелья” объемом 40 км³, расположенной на реке Янцзы близ Уханя [10], эффект Каспия значительно больше и противонаправлен.

Жизнь после 2030

