



Океан как модулятор климатических изменений



В.Ф. Логинов

С.А. Лысенко

*Беларусь,
Минск, ул. Ф.Скорины, 10.
Тел./факс 237-64-17.
E-mail: nature@ecology.basnet.by
lysenkorfe@gmail.com*

Аргументы и факты в пользу современного антропогенного изменения климата

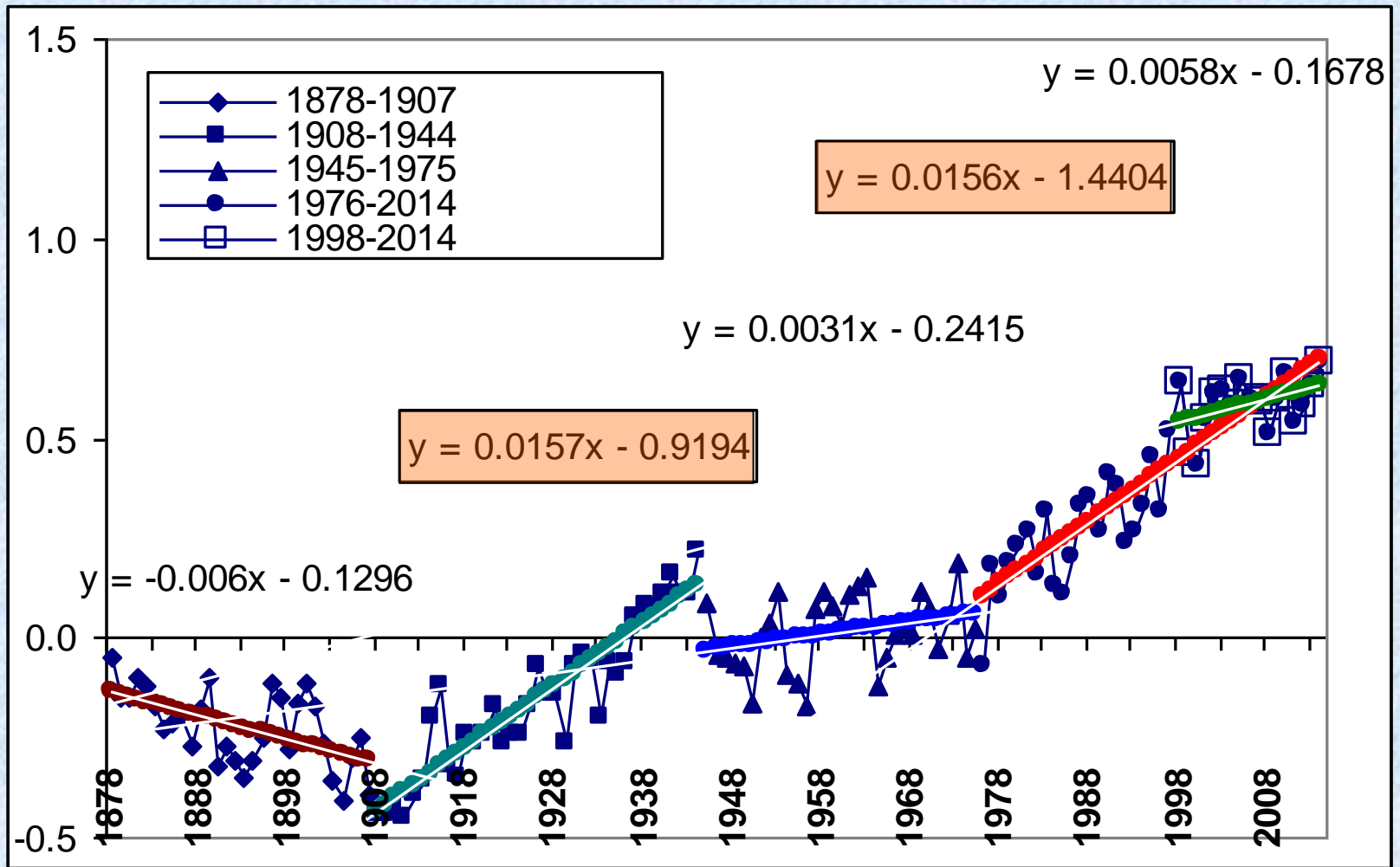
- 1. Факт **потепления климата** в последние десятилетия надежно установлен; предметом острой дискуссии остаются его причины.
- 2. Глобальное современное потепление климата оказалось **самым мощным** за историю инструментальных наблюдений: в Северном полушарии рост температуры составил около 0,9 °С, а в Южном – около 0,6. Ошибки вышеуказанных оценок составляют $\pm 0,2$ °С.

- 3. Максимальный рост температуры отмечается в континентальных районах, что согласуется с теорией парникового потепления климата
- 4. Ледовитость Северного Ледовитого океана и масса ледников сильно уменьшилась за последние два десятилетия. Температура же арктических широт (60° – 90°) впервые стала выше температуры начала 1940-х годов (максимум потепления Арктики).
- 5. Потепление более выражено в нижней части тропосферы, а выхолаживание – в стратосфере.

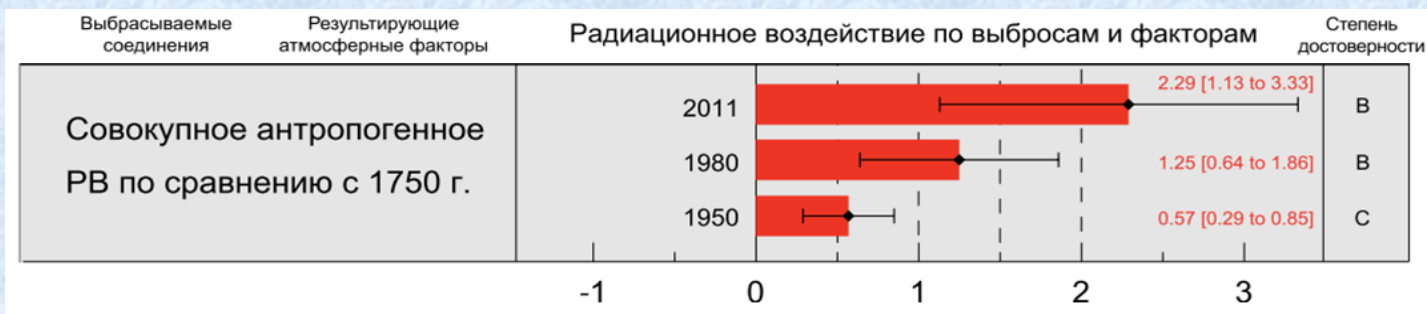
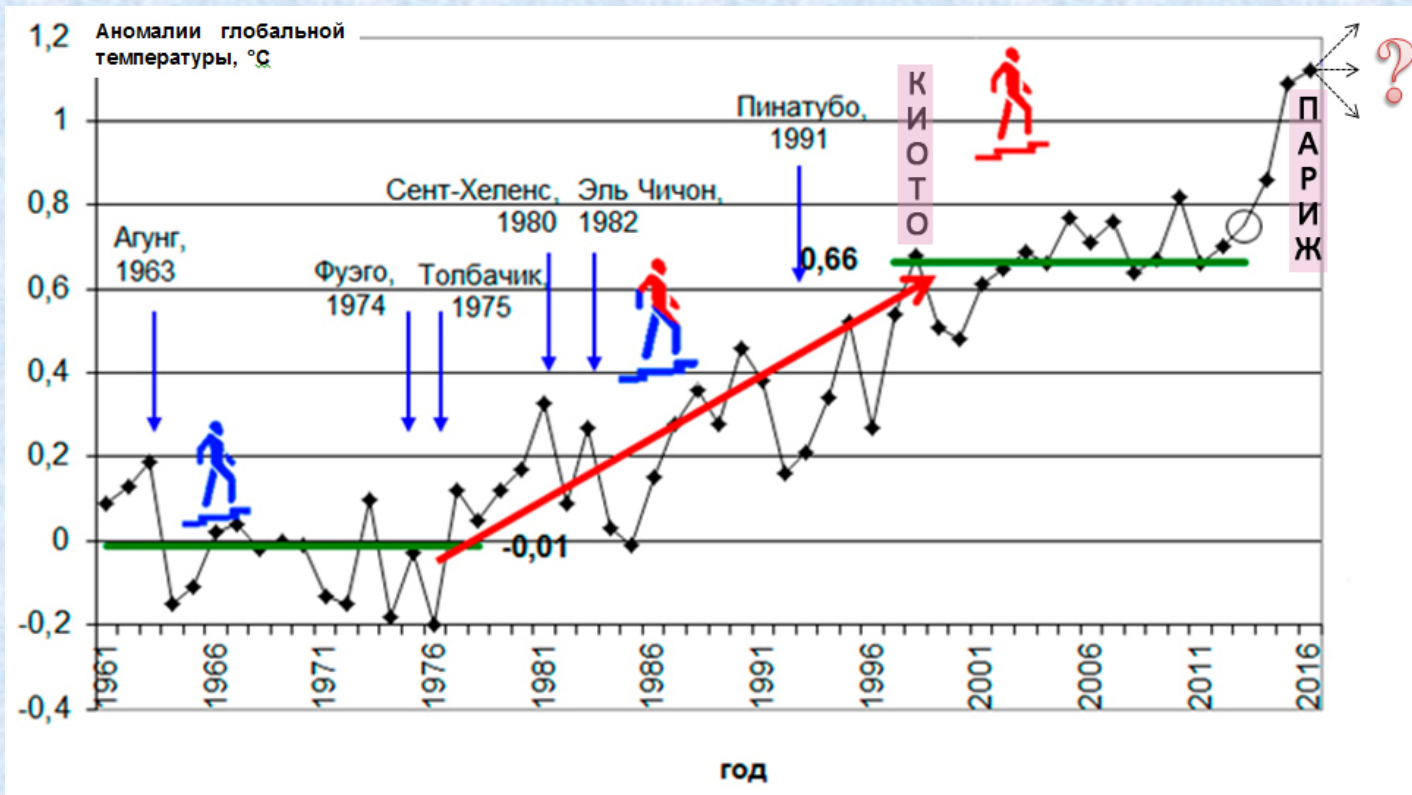
- 6. Рост температуры, если исходить из теории парникового потепления климата, должен быть наибольшим в высоких широтах. Это обусловлено вкладом альбедной обратной связи и воздействием сильной гравитационной устойчивости, создаваемой выхолаживанием вблизи земной поверхности. Последнее подавляет конвекцию и перенос длинноволнового излучения, приводя к концентрации обусловленного ростом содержания углекислого газа нагревания в тонком приповерхностном слое. В тропиках потепление «размазывается» по большой высоте в силу влияния влажной конвекции.

- 7. На материках создаются более благоприятные условия для усвоения длинноволновой радиации по сравнению с коротковолновой. В этой связи потепление сильнее выражено в центре материков и особенно ночью. На океанах поглощение прямой солнечной радиации происходит днем в слое, а длинноволновой радиации – в поверхностной пленке, что стимулирует рост испарения и снижение температуры поверхности океана.

Это означает, что если исходить из парниковой природы современного потепления климата, то оно наиболее ярко должно быть выражено в высоких широтах, в центрах материков, зимой и ночью.



Average annual surface global temperature changes from 1878 to 2014 and the linear trends magnitude for sub-periods of time



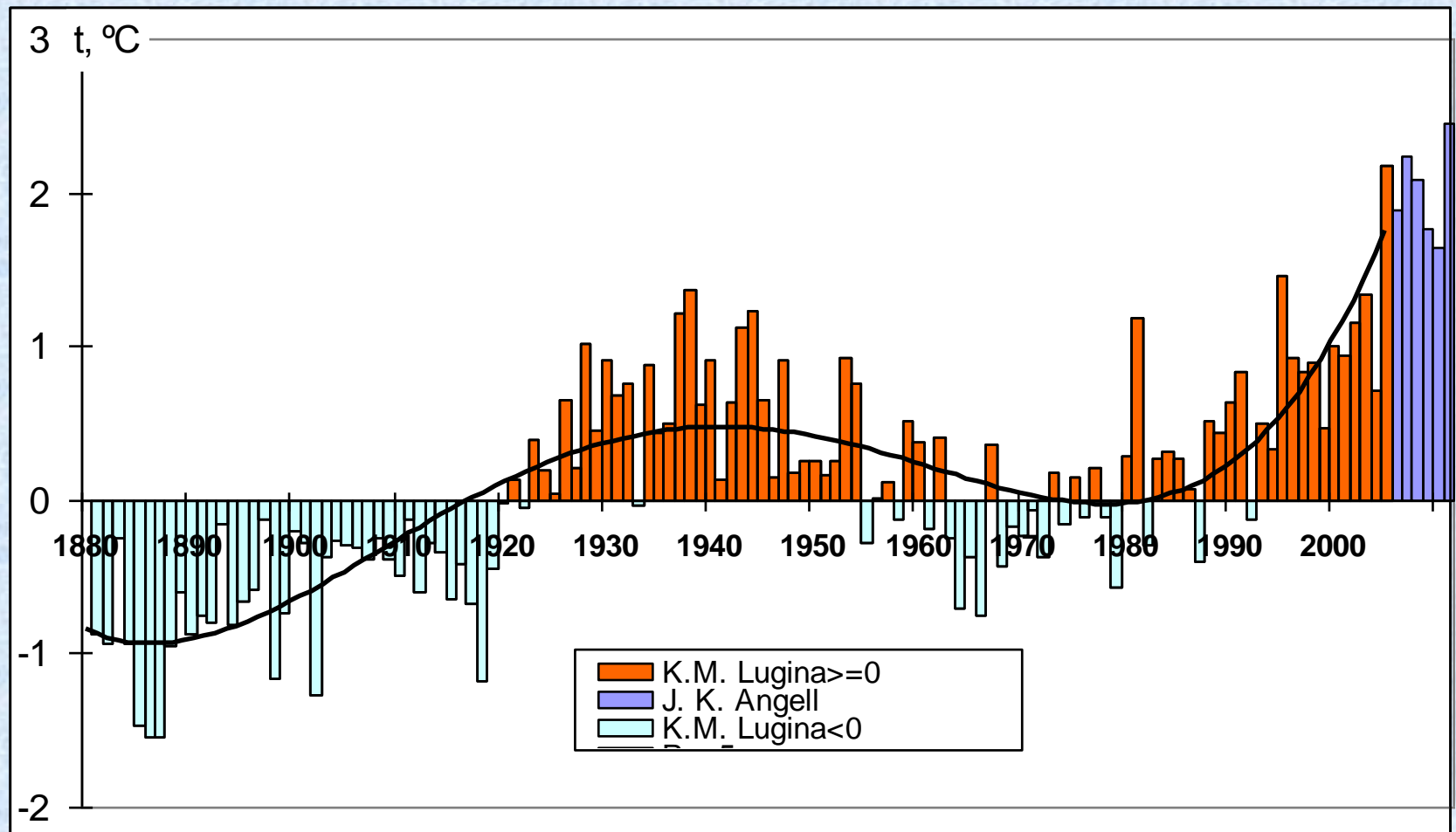
Global average annual temperature change
(arrows show large volcanic eruptions)

Особенности изменений климата, которые трудно объяснить только влиянием парниковых газов

- Наличие 60–70-летней цикличности в изменении температуры, которая особенно заметна в северных широтах, а также «скачков» и пауз в изменении климата. Они могут являться следствием ряда причин: автоколебаний в климатической системе, квазивековых изменений солнечной активности и вулканической деятельности.
- 60-летний цикл обнаружен в повторяемости полярных сияний с 1700 г. 60-летний цикл вошел в «холодную фазу» – наступила пауза.
- 22-летний солнечный цикл.

Dynamics of average annual temperature deviations in the zone from 60 to 90° North:

- 1951–1975, data K.M. Lugina, P.Y. Groisman, K.Y. Vinnikov,
- 1958–2011, data J. K. Angel

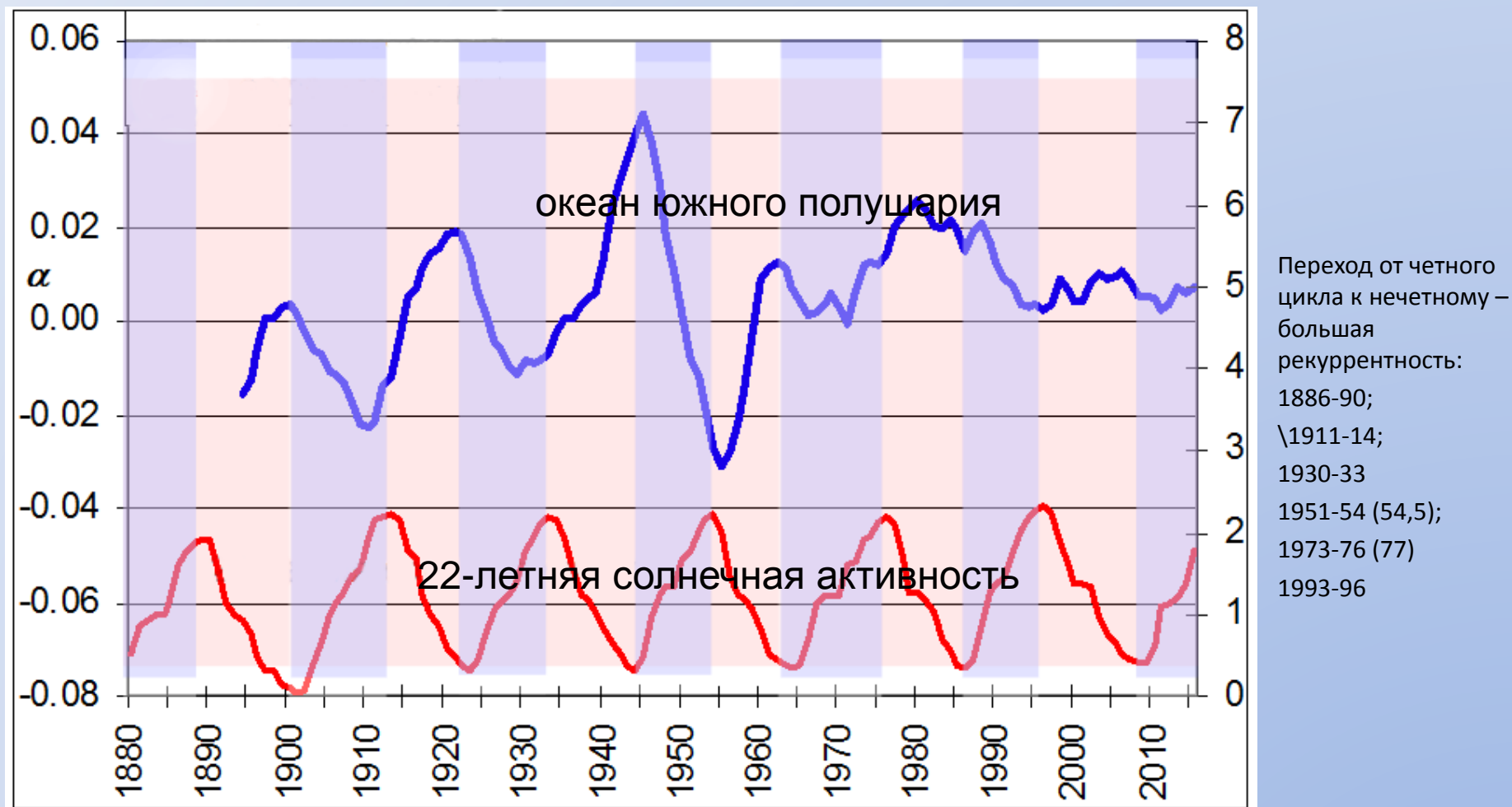


Возможные причины формирования пауз в изменении климата:

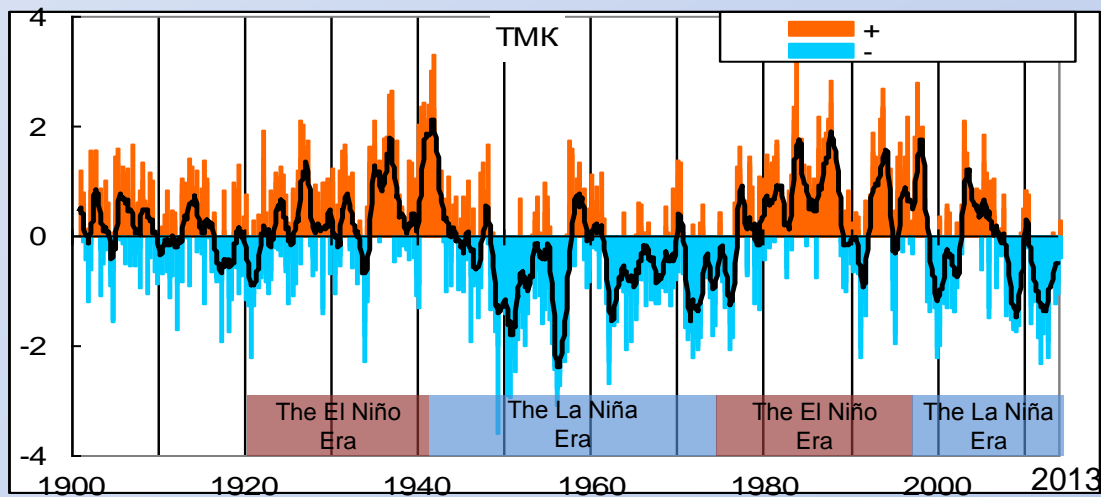
1. Солнечная активность и планетные влияния

2. Аэрозоли естественного и антропогенного происхождения

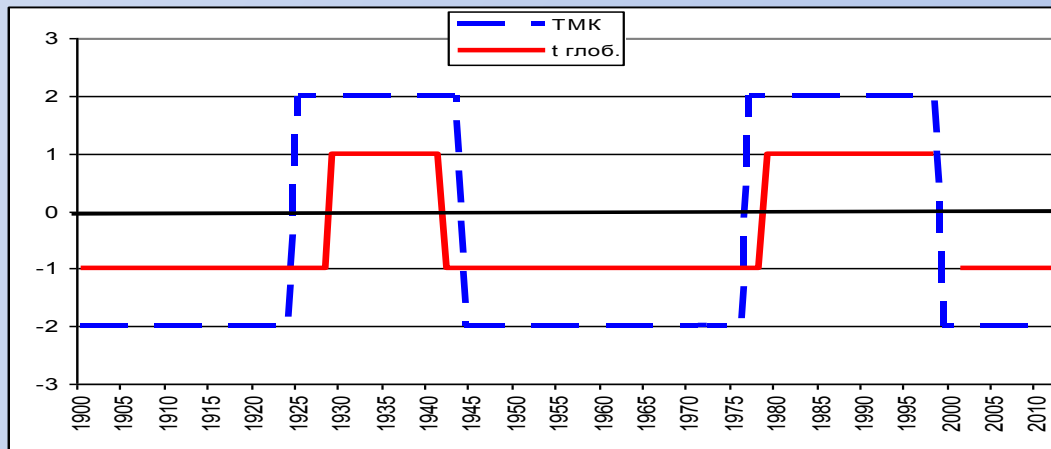
3. Автоколебательные процессы в климатической системе (океан – криосфера – биосфера – атмосфера) модулируют величины испарения, содержания влаги и облачный покров и, тем самым, формируют климатические паузы.



Dynamics of trends in ocean temperature anomalies in the South hemisphere and the simulated series of 22-year solar activity, 1894-2015



a



b

Changes in monthly and annual smoothed values of Pacific Decadal Oscillation (a); "cold" (-2) and "warm" (+2) phases of SST coinciding respectively with negative and positive values of gradients of average annual global temperature changes (b)

The extreme El Niño of 2015–2016 and the end of global warming hiatus

From (Hu S., Fedorov A.V. // Geophys. Res. Lett. 2017. V. 44, N. 8. P. 3816–3824).

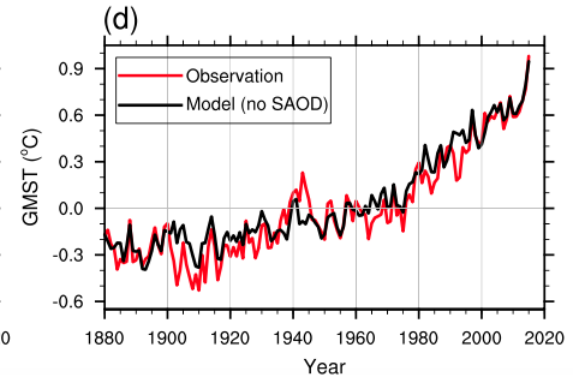
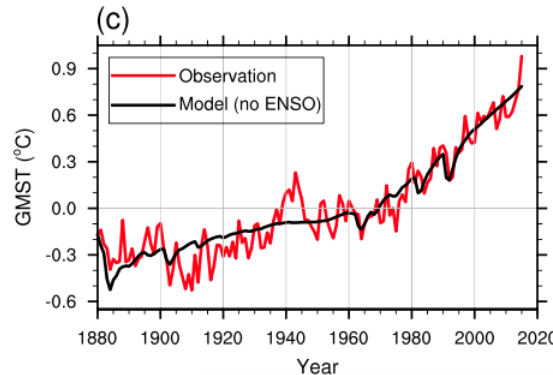
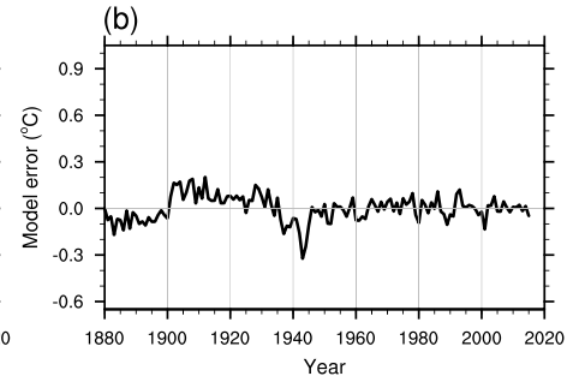
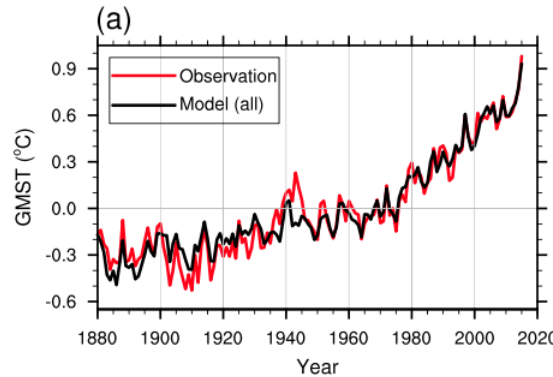
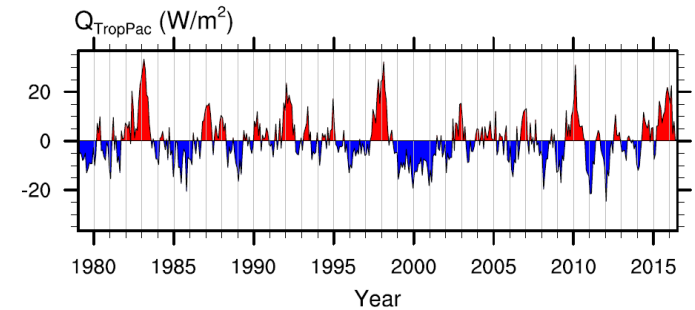
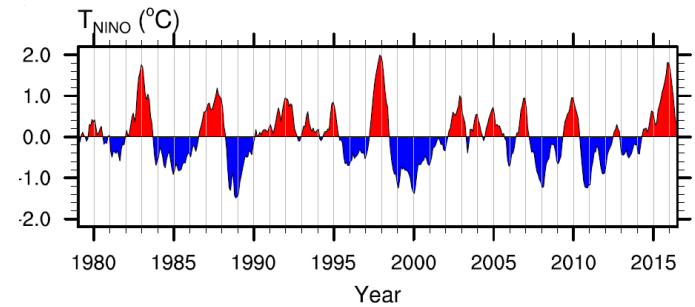
T_{NINO} – El Niño-Southern Oscillation index

$Q_{TropPac}$ – energy flux from equatorial Pacific into atmosphere

A simple regression model for global mean surface temperature (GMST):

$$\frac{dT_g}{dt} = -\frac{T_g}{\tau} + a \cdot \ln(CO_2/CO_{2,ref}) + b \cdot T_{NINO} + c \cdot SAOD + d$$

The particular terms on the right-hand-side of Eq. describe (i) linear damping with an e-folding timescale τ , (ii) longwave radiative forcing due to carbon dioxide, (iii) atmospheric heating anomalies associated with ENSO, (iv) shortwave scattering by stratospheric sulfate aerosols induced by volcanic eruptions, and (v) a constant term, respectively.



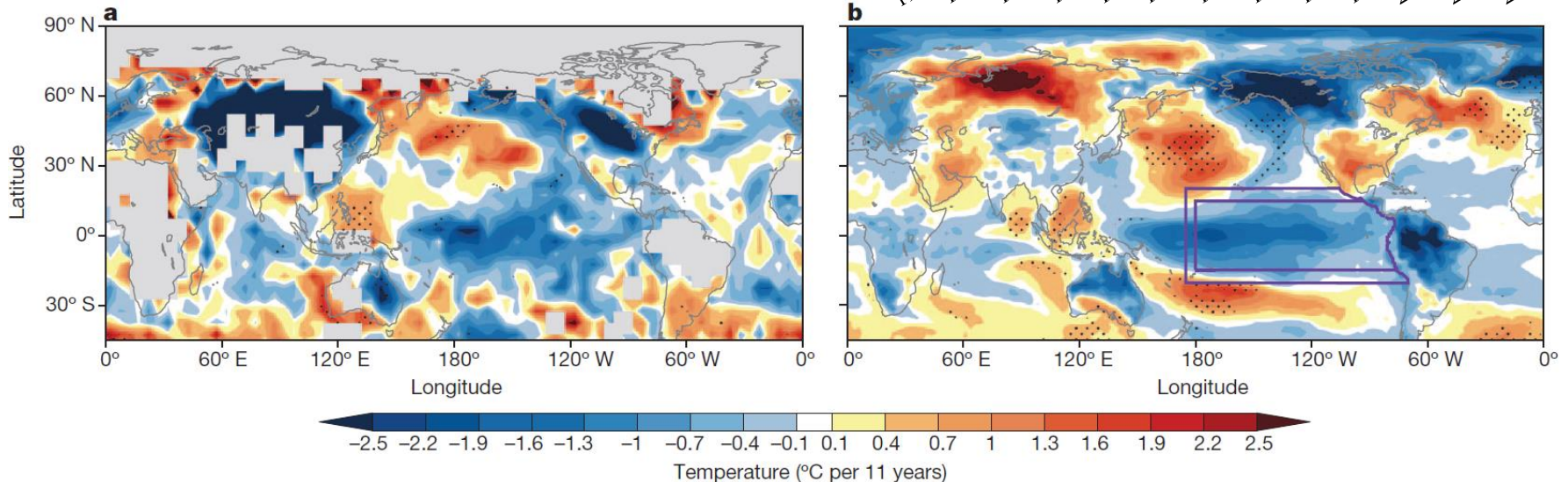
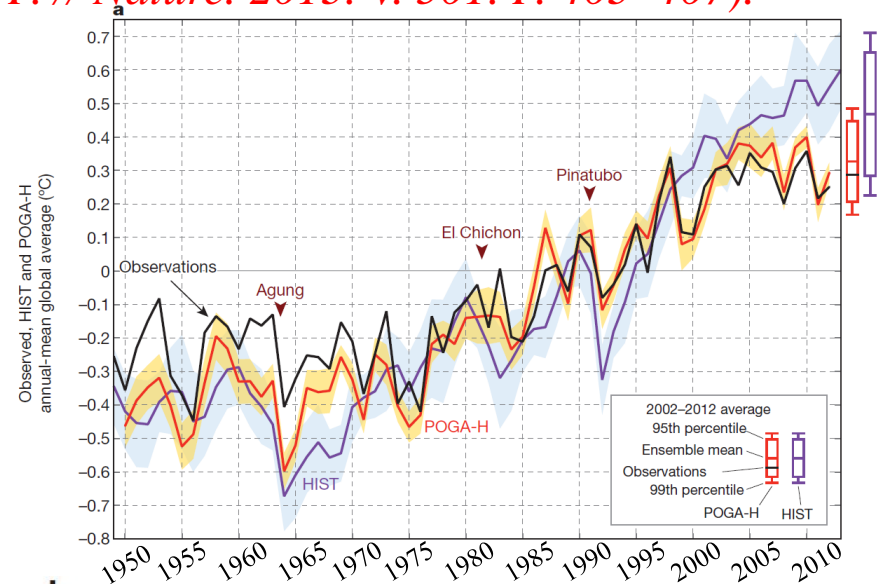
Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific

surface cooling. *From (Kosaka Y., Xie S.-P. // Nature. 2013. V. 501. P. 403–407).*

HIST – historical experiment is forced with observed atmospheric composition changes and the solar cycle.

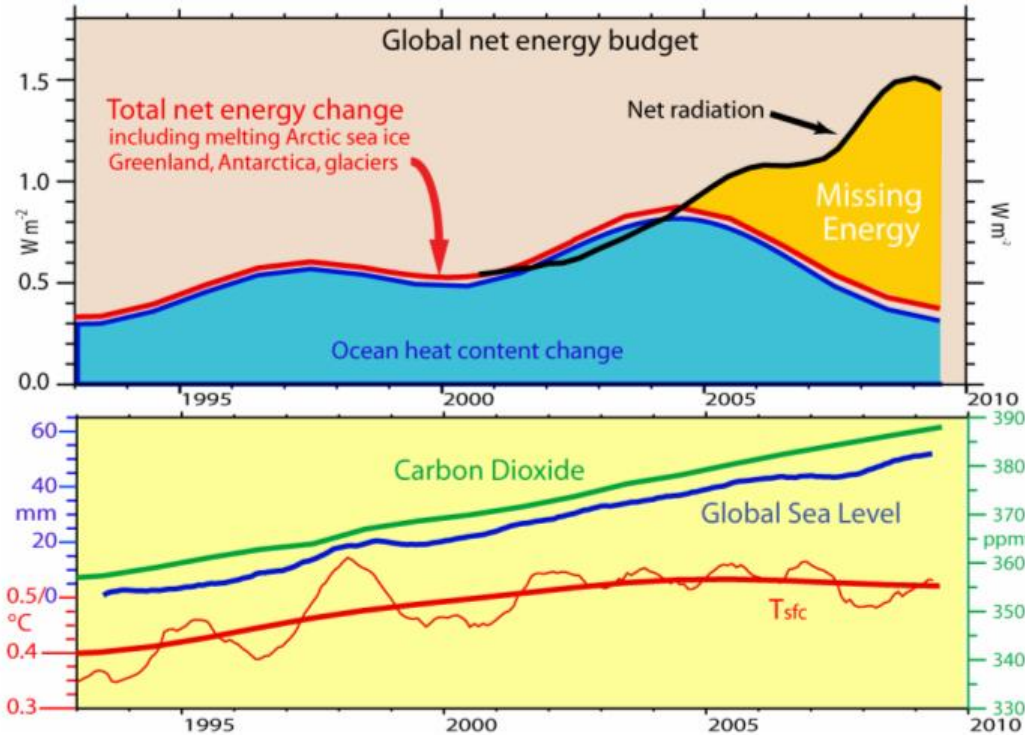
POGA-H – Pacific Ocean–Global

Atmosphere experiment with, the radiative forcing is identical to HIST and SST anomalies in the equatorial eastern Pacific (8.2% of the Earth's surface) follow the observed evolution.



Observed (a) and simulated (b) trend patterns in near-surface temperature. Stippling indicates regions exceeding 95% statistical confidence.

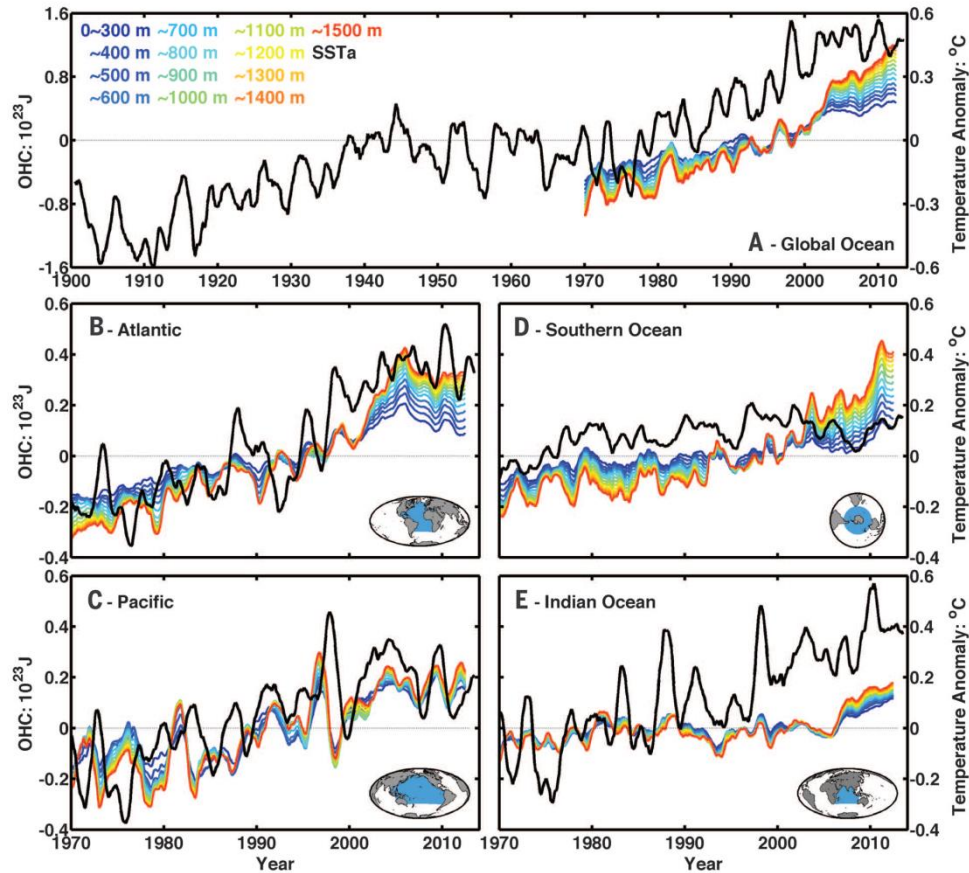
Where has the energy from global warming gone?



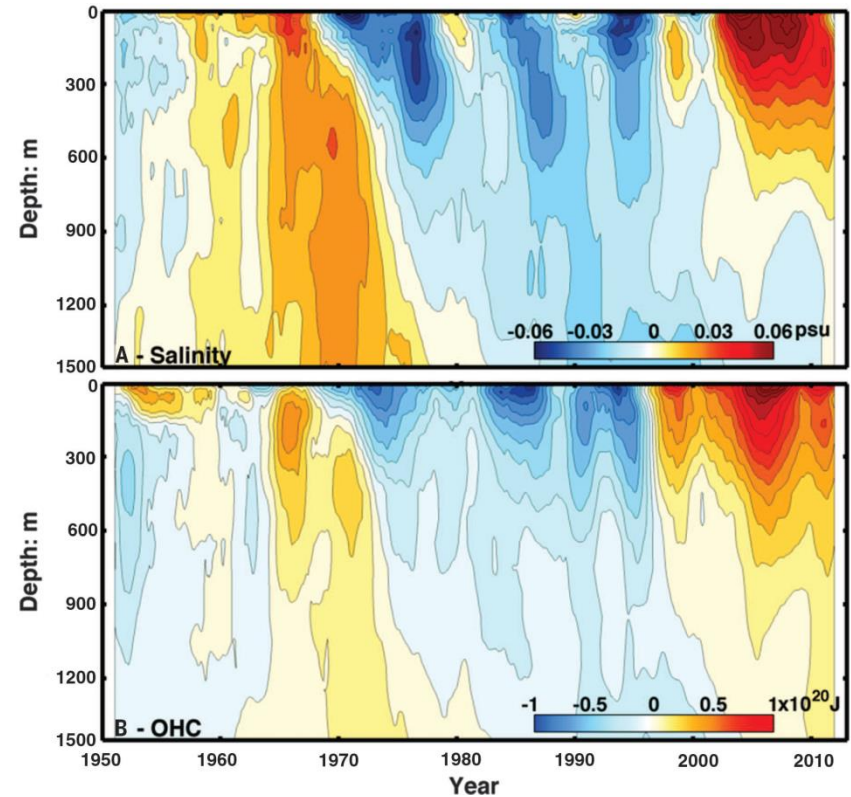
The oceans have absorbed ~90% of the energy added to the climate system; the rest has gone into melting sea and land ice and heating the land surface and atmosphere.

(A) Estimated rates of change of global energy. From 1992 to 2003, the decadal ocean heat content changes (blue), along with the contributions from melting glaciers, ice sheets, and sea ice and small contributions from land and atmosphere warming, suggest a total warming (red) for the planet of $0.6 \pm 0.2 W/m^2$. After 2000, observations from the top of the atmosphere (black) increasingly diverge from the observed total warming (red). (B) The observed steady increases in carbon dioxide and sea level contrast with the variability in global surface air temperature. *From (K.E. Trenberth, J.T. Fasullo. Tracking Earth's Energy // Science. 2010. V. 328. P. 316–317.)*

Varying planetary heat sink led to global-warming slowdown and acceleration. *From (Chen, X.; Tung, K.-K. // Science. 2014. V. 345 (6199). P. 897–903).*



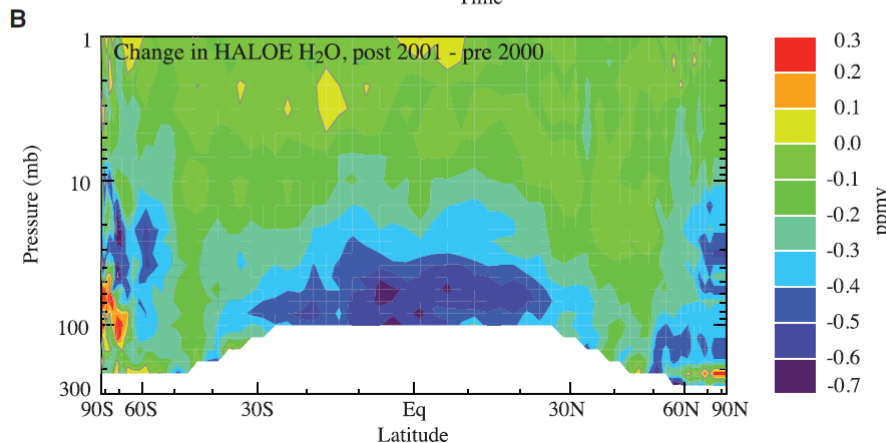
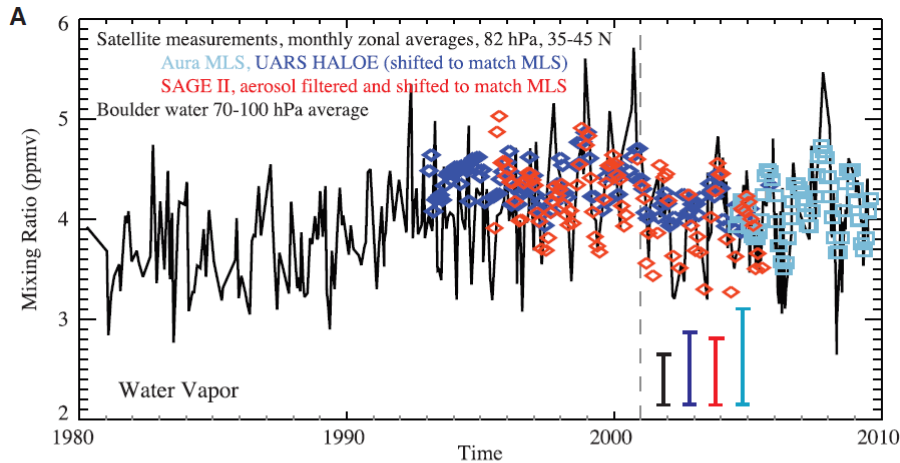
Heat content Integrated from the surface to different indicated depths in the global ocean (A), the Atlantic (B), the Pacific (C), the Southern Ocean (D), and the Indian Ocean (E)



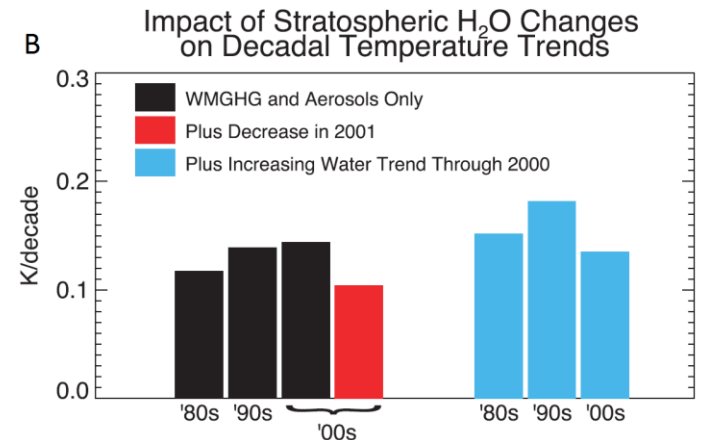
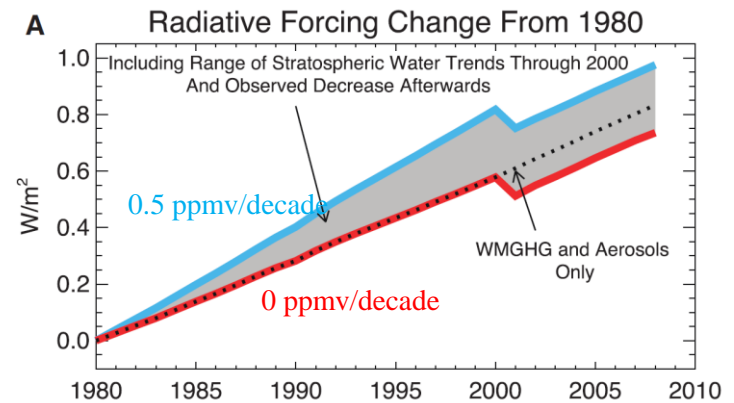
Climate shifts in salinity and ocean heat content (OHC). North Atlantic subpolar (45° to 65°N) mean salinity (A) and 5-m layer OHC (B), 12-month running mean, as a function of years

Contributions of Stratospheric Water Vapor to Decadal Changes in the Rate of Global Warming

From (Solomon S. et al. // Science. 2010. V. 327, 5 P. 1219–1223)



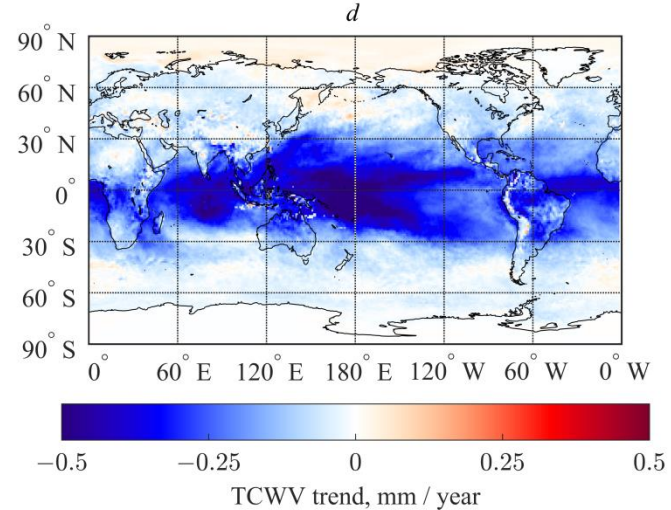
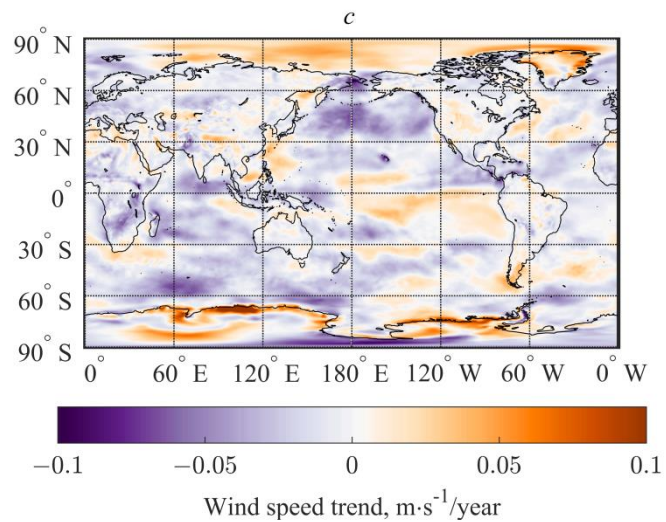
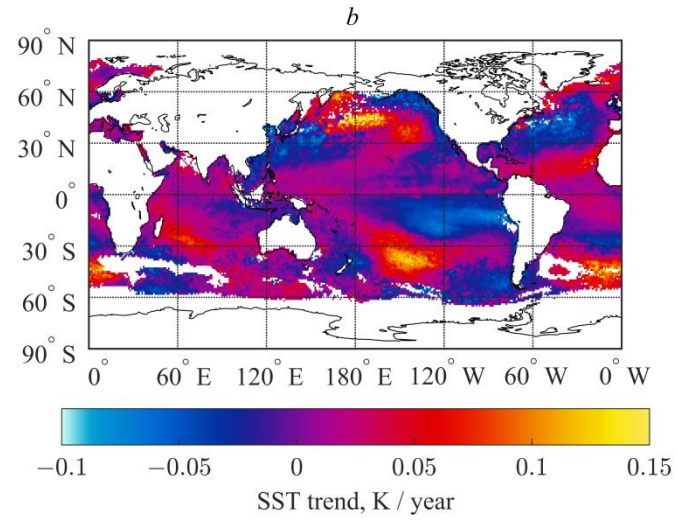
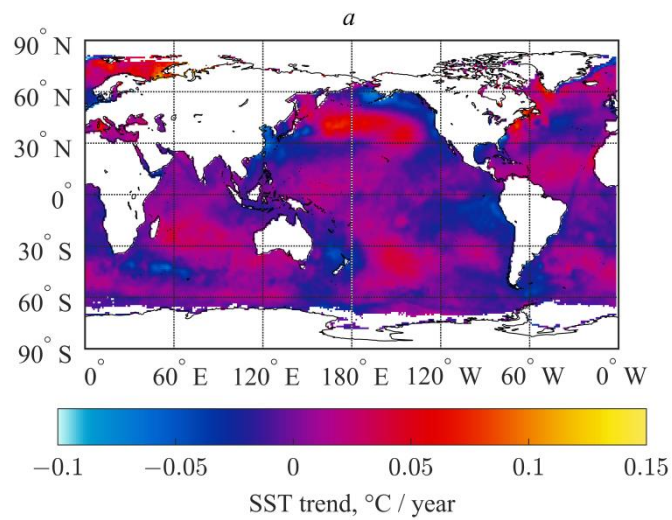
Observed changes in stratospheric water vapor. Balloon measurements of water vapor, taken near Boulder, Colorado (40°N, 105.25°W) along with zonally averaged satellite measurements in the 35° to 45° latitude range at 82 hPa.



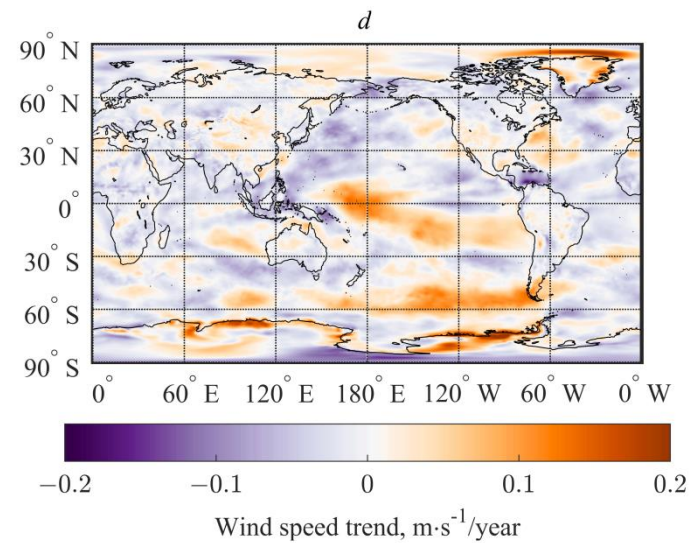
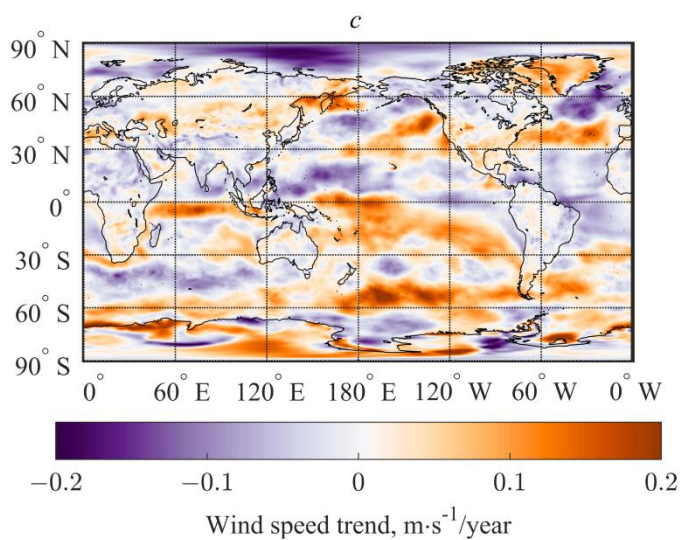
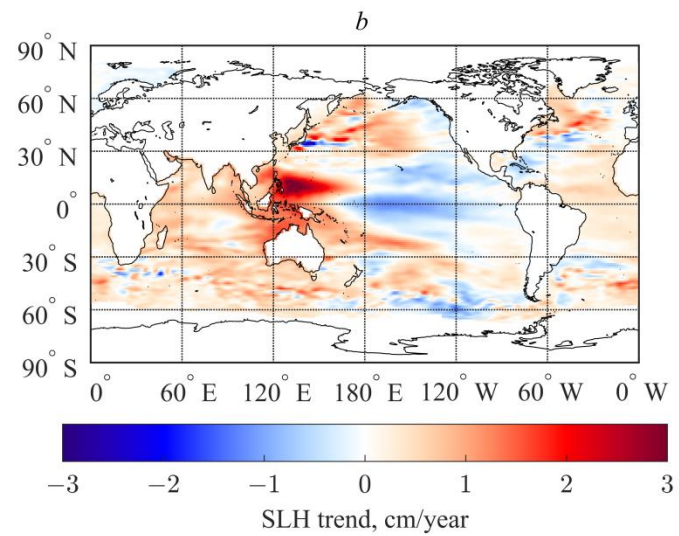
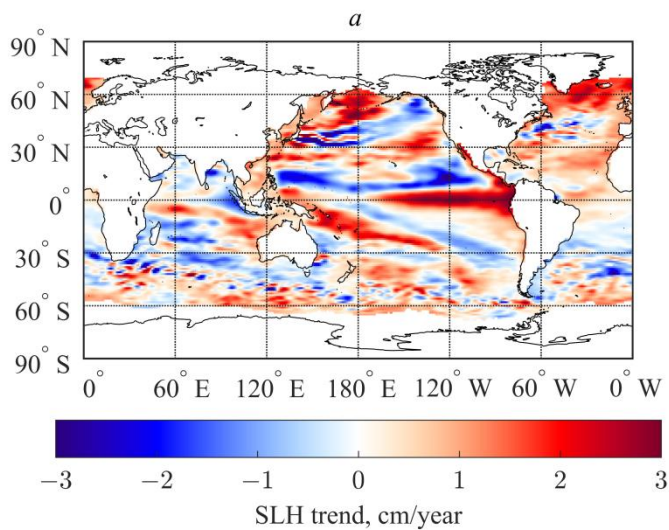
Time series of the changes in radiative forcing since 1980 due to wellmixed greenhouse gases (WMGHG), aerosols, and stratospheric water vapor.

Используемые данные

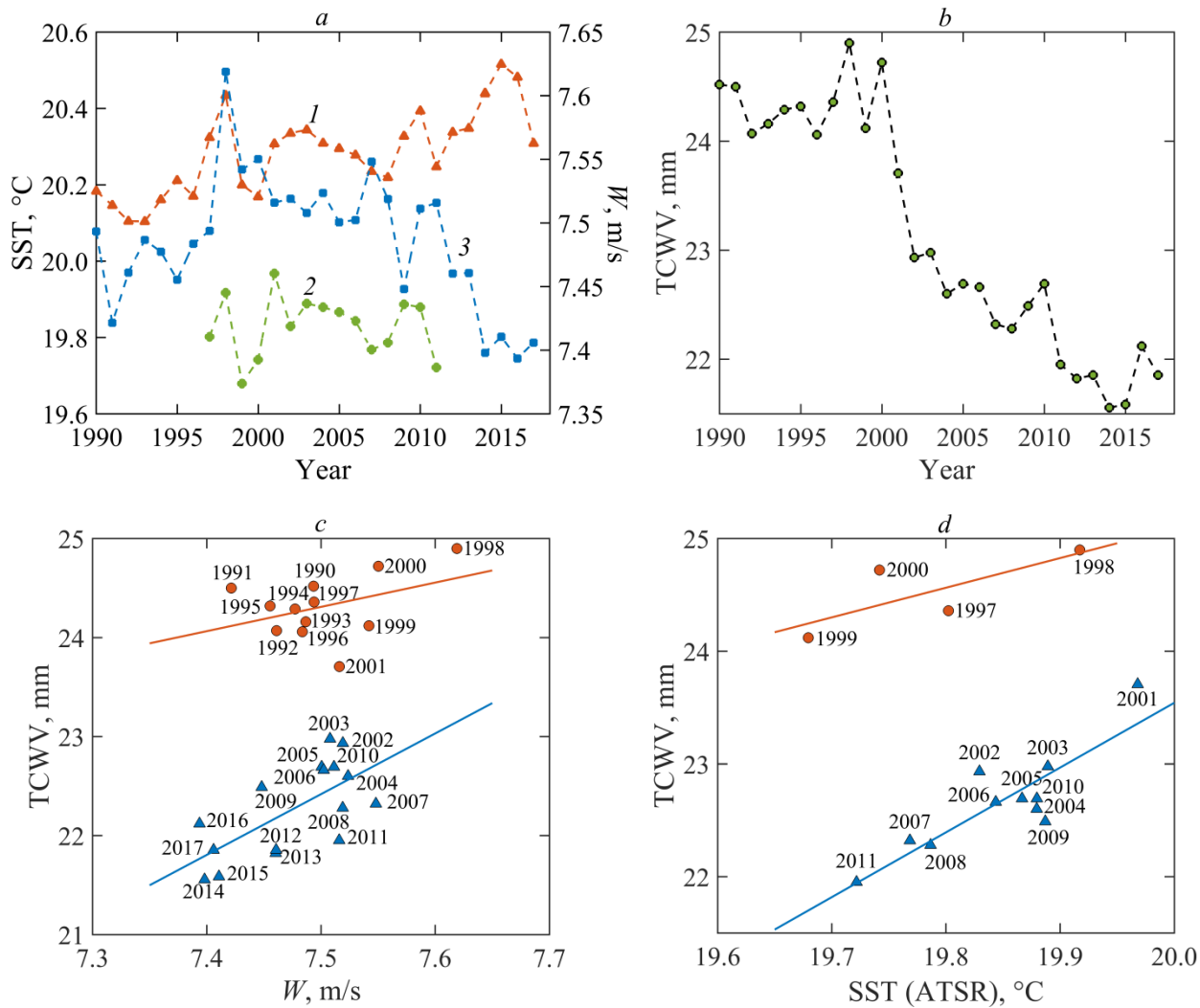
- **Содержание водяного пара в атмосфере:** до 2000 г. – база данных NVAP (NASA Water Vapor Project), построенная на основе измерений высотных профилей метеопараметров атмосферы с метеорологических спутников и радиозондов, начиная с 2000 г. – данные спутникового спектрорадиометра MODIS;
- **Параметры облачности** (степень покрытия атмосферы, оптическая толщина и высота верхней границы): источник данных с 2000 г. – MODIS;
- **Температура поверхности океана:** данные радиометров серии ATSR (Along Track Scanning Radiometer), охватывающие период с 1997 по 2011 гг.; база данных HadISST (Hadley Centre Global Sea Ice and Sea Surface Temperature);
- **Высота уровня моря:** данные спутниковых альтиметров AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data), охватывающие период с 1993 по 2011 гг.;
- **Локальные аномалии гравитационного поля Земли**, выраженные в толщинах эквивалентного им по массе слоя воды: данные спутникового эксперимента GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment), проводимого с 2001 года;
- **Данные ретроспективного анализа глобальной динамики атмосферы** за период спутниковых наблюдений (с 1980 г. по настоящее время) с использованием модели MERRA-2.



Глобальные распределения линейных трендов температуры поверхности океана по данным HadISST (*a*) и ATSR (*b*), скорости ветра на уровне подстилающей поверхности (*c*) и осаждемого слоя водяного пара (*d*), относящиеся к периоду 1998–2013 гг.



Глобальные распределения линейных трендов высоты уровня моря (*a, b*) и приповерхностной скорости ветра (*c, d*) до начала (1990–1997 гг.) и в первое десятилетие после начала (2001–2010 гг.) последней климатической паузы



Межгодовая изменчивость (*a*, *b*) и взаимосвязь (*c*, *d*) глобальных среднегодовых значений температуры поверхности океана (SST), скорости приземного ветра (W) и общего содержания водяного пара в атмосфере (TCWV): *a* – экспериментальные данные HadISST (1) и ATSR (2) по температуре океана и данные реанализа MERRA-2 (3) по скорости ветра; *b* – данные спутникового прибора MODIS по содержанию в атмосфере водяного пара; *c* – связь среднегодовых значений W и TCWV; *d* – связь среднегодовых значений SST (данные ATSR) и TCWV

Для оценки независимых вкладов температуры поверхности океана (SST) и скорости приземного ветра (TWS) в изменения содержания водяного пара в атмосфере (TCWV), отмечаемые в годы климатической паузы, используется множественная регрессия:

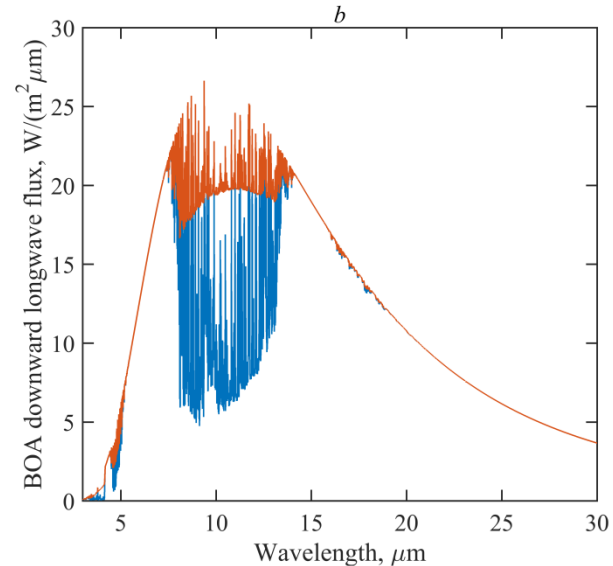
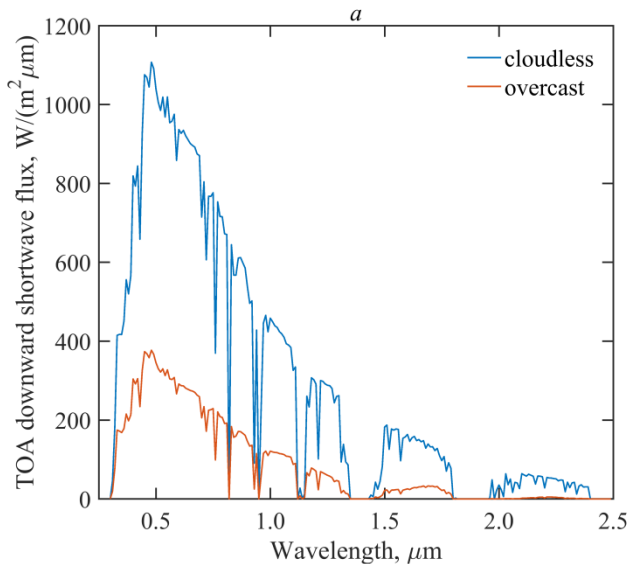
$$TCWV = -153.09 + 6.535 \cdot SST + 6.132 \cdot TWS \quad (R^2=0.828)$$

Изменение трендовой компоненты TCWV с 2001 по 2013 годы составляет – **1.4 мм**, из которых **~70 %** обусловлено влиянием температуры поверхности океана и **~20 %** – ослаблением скорости ветра.

Радиационная модель атмосферы

Входные данные:

- общее содержание водяного пара в атмосфере;
- аэрозольная оптическая толщина;
- приземная температура воздуха;
- концентрации CO_2 , O_3 , N_2O , CO , CH_4 , O_2 и малых газовых компонент;
- спектральное альbedo подстилающей поверхности;
- температура подстилающей поверхности;
- высота верхней границы и оптическая толщина облачного слоя;
- микроструктурные параметры облаков: средний радиус и полуширина распределения частиц по размерам.



Потоки нисходящего коротковолнового (a) и длинноволнового (b) излучения на нижней границе атмосферы

Оценки радиационных воздействий на подстилающую поверхность в солнечной (shortwave, SW) и тепловой (longwave, LW) областях спектра за счет вариаций содержаний водяного пара ($\delta TCWV$) и углекислого газа (δCO_2) в безоблачной атмосфере и при сплошной облачности

COT	TCWV, mm	C_{GHG} , ppmv	$\delta TCWV$, mm	δC_{GHG} , ppmv	δF_{SW} , W/m ²	δF_{LW} , W/m ²	δF_{Tot} , W/m ²
0	23.5	325.5	-2	0	3.1138	-3.7506	-0.6368
0	23.5	405.0	-2	0	3.1085	-3.7028	-0.5943
0	21.5	325.5	0	79.5	-0.5580	0.7610	0.2029
0	23.5	325.5	0	79.5	-0.5527	0.7132	0.1604
14.9	23.5	325.5	-2	0	1.1550	-1.6227	-0.4677
14.9	23.5	405.0	-2	0	1.1571	-1.6112	-0.4541
14.9	21.5	325.5	0	79.5	-0.0705	0.2262	0.1558
14.9	23.5	325.5	0	79.5	-0.0726	0.2147	0.1422

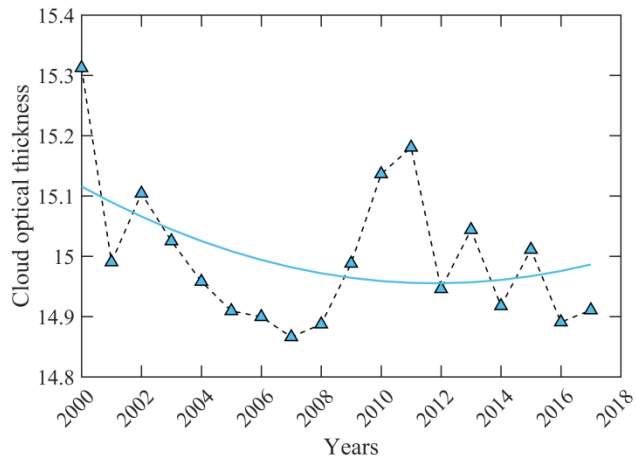
C_{GHG} – концентрация углекислого газа в атмосфере (greenhouse gas),

F_{SW} , F_{LW} и F_{Tot} – нисходящие потоки коротковолновой, длинноволновой и полной радиации на нижней границе атмосферы соответственно,

δ – абсолютные вариации относительно указанных значений TCWV и C_{GHG}

Вывод: За счет уменьшения общего содержания водяного пара в атмосфере с 2001 по 2014 годы на 2 мм радиационный форсинг на подстилающую поверхность уменьшился на величину ~ 0.6 Вт/м², что более чем в 3 раза превышает противоположный по знаку форсинг углекислого газа при возрастании его концентрации с уровня 1970 года по современный.

Так почему же температура подстилающей поверхности в начале 2000-х годов оставалась практически постоянной, а не уменьшалась?

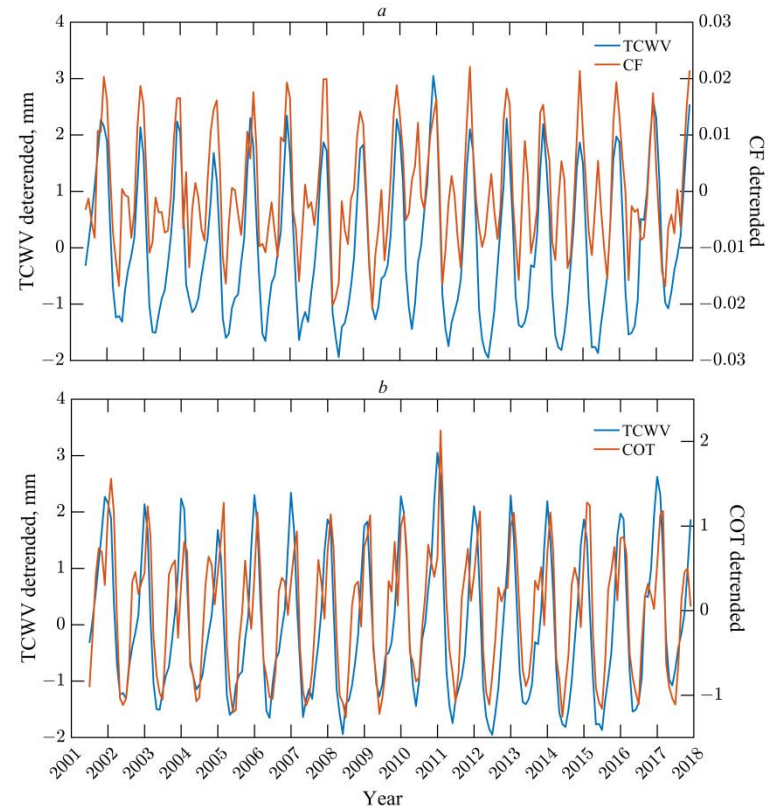


Глобальная среднегодовая оптическая толщина облаков

Расчеты радиационной модели атмосферы:

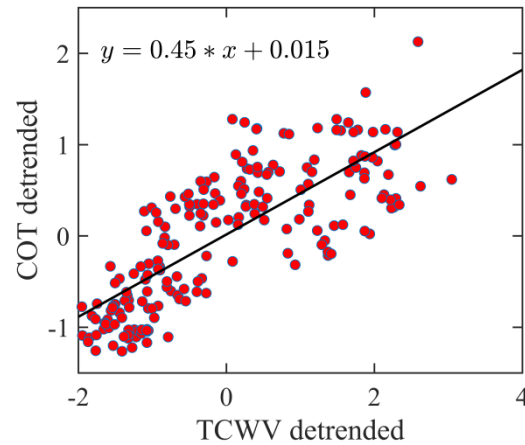
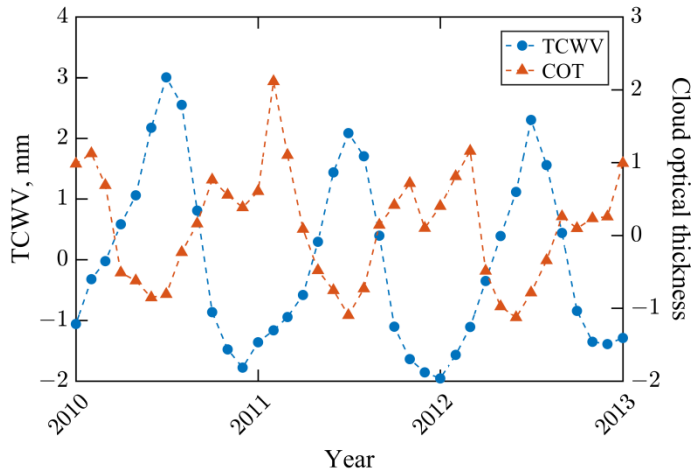
Reference values: TCWV = 23.5 mm,
 $C_{\text{GHG}} = 405$ ppmv, CF = 0.67, COT = 14.9

δTCWV , mm	δCOT	δF_{SW} , W/m ²	δF_{LW} , W/m ²	δF_{Tot} , W/m ²
-2	0	3.1085	-3.7028	-0.5943
0	-0.1	0.6659	-0.0105	0.6555



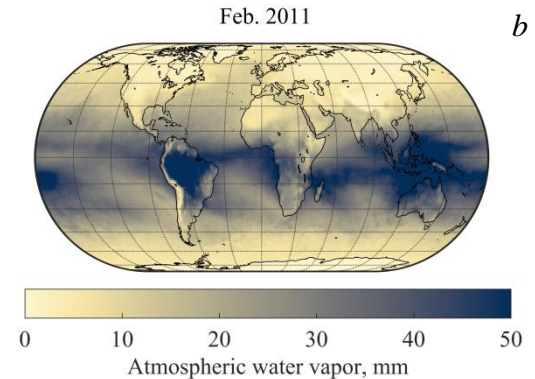
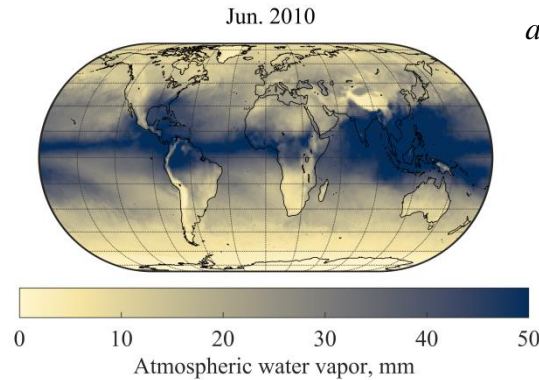
Глобальная среднемесячные значения степени покрытия атмосферы облаками (a) и их оптической толщины (b) в сопоставлении с общим содержанием водяного пара в атмосфере, сдвинутым во времени на -5 (a) и -6 (b) месяцев

Связь водяного пара со свойствами облаков

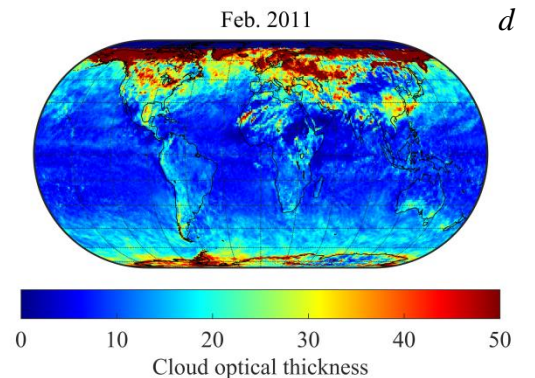
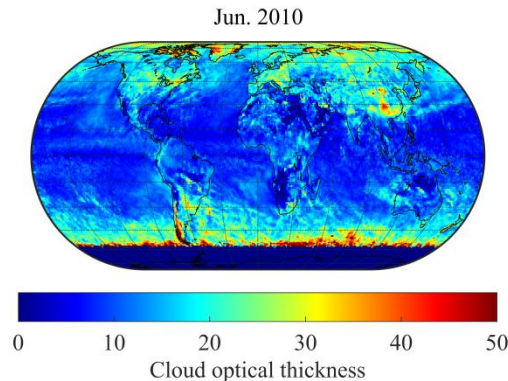


Корреляция между освобожденными от тренда значениями TCWV и COT

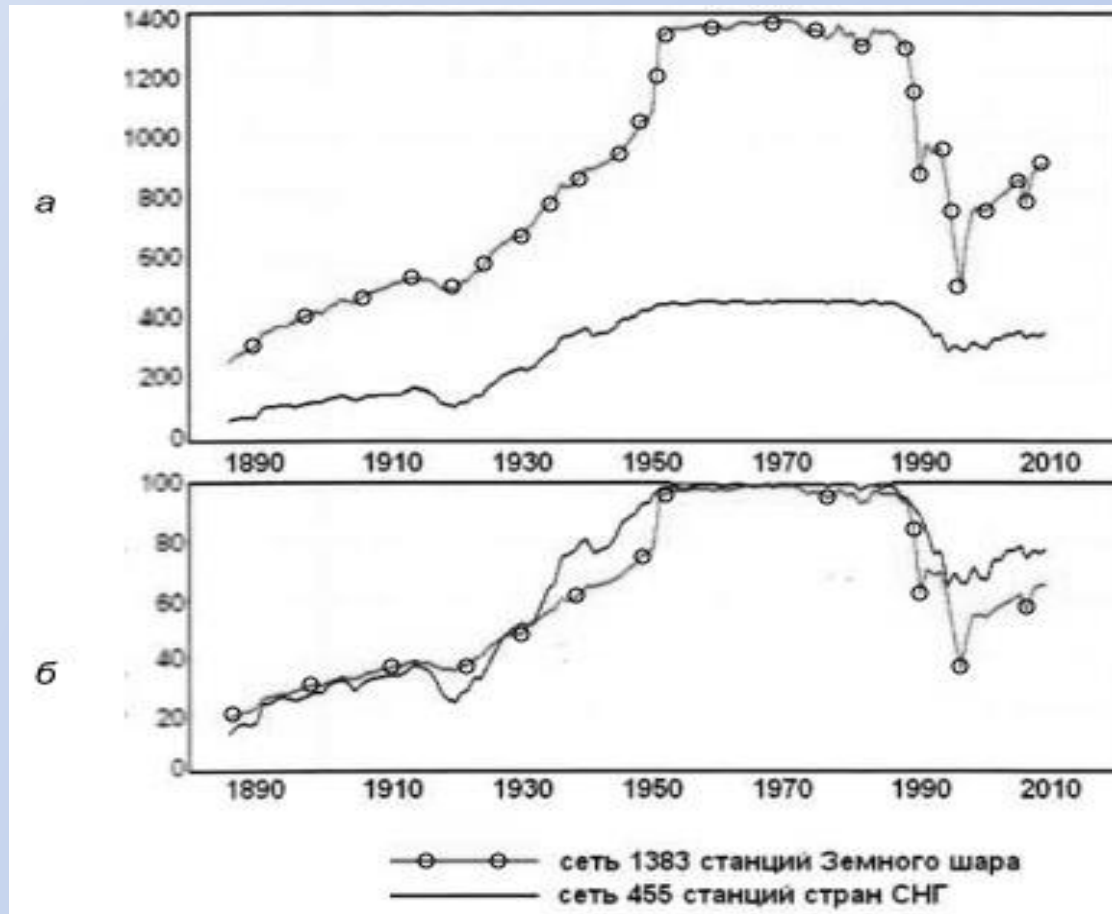
Среднемесячные глобальные значения общего содержания водяного пара в атмосфере (TCWV) и оптической толщины облаков (COT)



Распределение содержания водяного пара (a, b) и оптической толщины облаков (c, d) в земной атмосфере в июне 2010 года (a, c) и в феврале 2011 (b, d)

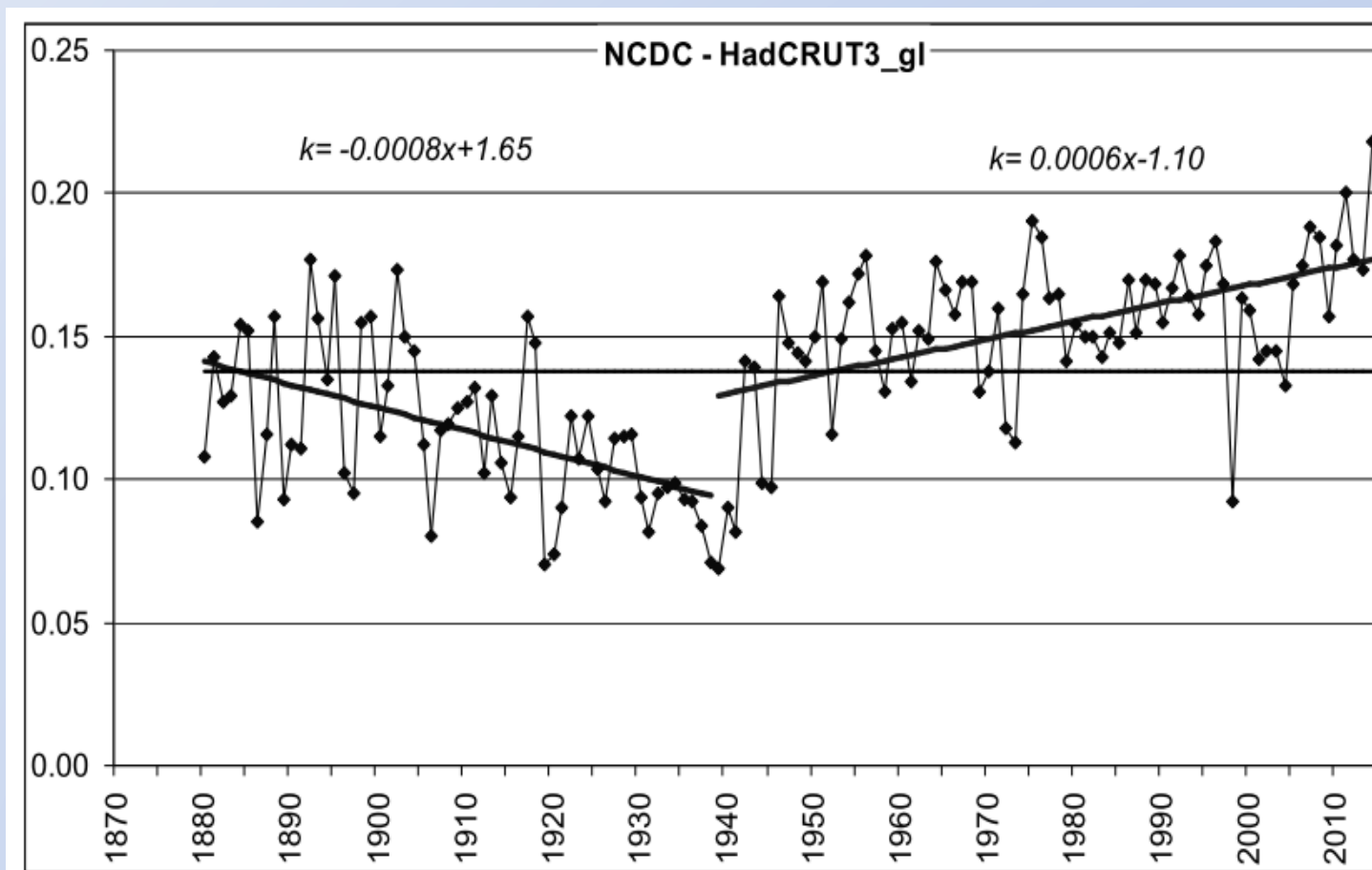


ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЕМА И КАЧЕСТВА ДАННЫХ



Change in completeness of temperature data in the climate monitoring database for the global network of stations (n = 1383) and for the CIS network (n = 455):
a-number of stations; b - percentage of stations

Увеличение процентного соотношения числа метеорологических станций на урбанизированных территориях вследствие закрытия большого числа станций в труднодоступных районах мира (северные территории, Сибирь и Дальний Восток, высокогорные районы в СНГ, а также на территории значительного числа стран Африки и Азии) **могло привести к увеличению урбанизационной «поправки» и «дополнительному» потеплению климата в последнем двадцатилетии.**



Changes in the global mean annual temperature anomalies of the American (NCDC) and British (HadCRUT3gl) near-surface temperature series from 1880 to 2014

NCDC norm 1961-2000
 HADCRUT norm 1931-1990

Самые теплые годы по данным Национального центра климатических данных США и отдела климатических исследований университета Восточной Англии и Чандлеровского центра отличаются в среднем на 0,12°С (выше по данным США)

Национальный центр климатических данных США:

Отдел климатических исследований Университета Восточной Англии и Гадлеевского центра:

NCDC		CRU	
год	значения аномалий глобальной температуры, °C	год	значения аномалий глобальной температуры, °C
2016	0,95	2016	0,80
2015	0,91	2015	0,76
2014	0,75	2017	0,70
2010	0,7	2014	0,58
2013	0,67	2010	0,56
2005	0,66	2005	0,55
2009	0,64	1998	0,54
1998	0,63	2013	0,51
2012	0,63	2006	0,51
2006	0,62	2009	0,51
Среднее значение	0,72		0,60

Разность 0,12°С

Подписание Парижского соглашения по защите климата произошло несмотря на то, что научное сообщество до сих пор так и **не договорилось о траектории климата будущего, поскольку пока нет полного понимания физических процессов, определяющих поведение составляющих климатической системы Земли.**

Тренд среднегодовой эмиссии CO₂ (млрд т в год) за период с 1990 до 2011 года в основных промышленно развитых странах и странах с переходной экономикой

Страна	1990	2000	2010	2011/1990 (%)
США	4,99	5,87	5,53	9
ЕС (27)	4,32	4,06	3,91	-12
Китай	2,51	3,56	8,90	287
Индия	0,66	1,06	1,86	198
Россия	2,44	1,66	1,78	-25
Япония	1,16	1,28	1,26	7
Азиатские страны ¹	0,71	1,31	1,81	159
Другие страны ²	1,83	2,36	3,93	124
Все страны	22,7	23,4	33,0	49

- 1) Азиатские тигры (Индонезия, Сингапур, Таиланд, Южная Корея и Тайвань)
- 2) Другие крупные развивающиеся страны (Бразилия, Мексика, Южная Африка, Саудовская Аравия, Индия и Иран)

И несмотря на большую неопределенность оценок объявлена война парниковым газам. Логика в этом есть --→>>> технологический рост и уменьшение загрязнения, но результат плачевный.

Кто виноват? И кто должен платить?

- Предлагается солидарная ответственность за изменения глобального климата! Тогда как США и европейские страны ответственны за большую часть коммулятивной эмиссии CO₂ за истекшее столетие.
- В контрольном сценарии динамики выбросов парниковых газов доля Китая с 1900 по 2030 г. возрастает до 16 %, тогда как доля США составит 23 %, а доля Европейского Союза около 18 %.
- Считается, что с 1900 по 2030 г. США коммулятивно выбросят в атмосферу 450 млрд. т, Китай - 350 млрд. т, страны Европейского Союза – 360 млрд. т, Япония и Индия – около 70 млрд. т CO₂ каждая.
- Китай и Индия совместно обеспечат 56 % увеличения мировой эмиссии CO₂ в период с 2005 по 2030 год.

Секвестрование выбросов углерода потребует больших финансовых вложений. Захотят ли страны вложить в решение этой проблемы около 18 трил. долларов США? Именно такая сумма называлась для удержания углекислого газа на безопасном для климата уровне (450 ppm - 0,045 %).

Выбросы CO₂ в большинстве ведущих экономик мира во главе с Китаем, США, Индией и 28 странами Евросоюза продолжают увеличиваться.

В 2010 году общемировые выбросы углекислого газа достигли 33.0 млрд. тонн, увеличившись на 30% по сравнению с 2000-м и на 45% — в сравнении с 1990-м, взятом за базовый в Киотском протоколе. В свою очередь, в 1990 году общемировые выбросы были равны 22,7 млрд. тонн, и, по сравнению с количеством выбросов в 1970 году, равным 15,5 млрд. тонн, увеличились на 45%. За временные отрезки в двадцать лет — с 1970 года по 1990, и за тот же срок с 1990 по 2010 г., рост общемировых выбросов был одинаковым – на 45%. В 2010 году **54% общемировых выбросов принадлежит развивающимся странам, а 43% – промышленно развитым странам.**

Киотский протокол и последующие посткиотские соглашения по уменьшению выбросов парниковых газов – это всего лишь уменьшение зависимости стран от углеводородных источников.

Избавиться от такой зависимости желают в первую очередь страны Европейского Союза и Япония, которые не обладают их достаточными запасами.

Однако очевиден и плюс таких документов - это первый опыт международного сотрудничества по защите климата в результате снижения одного из множества факторов климатических изменений – антропогенного.

2001 г. — *Джордж Буш* – выход из Киотского протокола; причина – большая нагрузка на американскую экономику.

2016 г. — *Дональд Трамп* – потеря 2,7 миллионов рабочих мест к 2025 году, падение производства. Парижское соглашение не накладывает реальных обязательств на ведущие государства-загрязнители (Китай, Индия). США к 2025 году должны уменьшить выбросы до 72% относительно выбросов 2005 года. Каждые последующие 5 лет плана по снижению выбросов будут ещё более амбициозными.

У Китая другой тип обязательств; они не предусматривают абсолютных ограничений на выбросы (право на суверенное развитие экономики). В 2023 году планируется оценить, насколько действия всех стран отвечают цели Парижского соглашения (ограничению роста температуры не выше 2-х градусов относительно к доиндустриальному уровню).

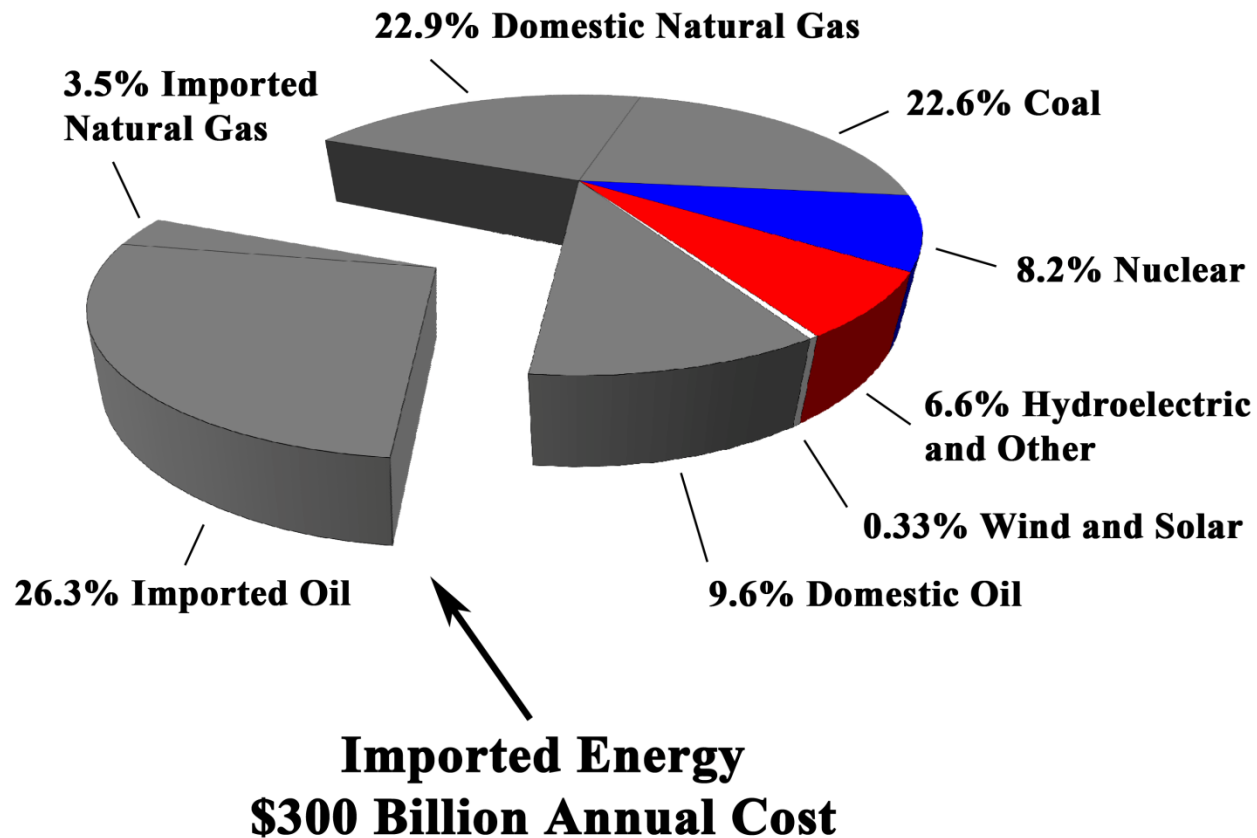


Figure 25: **In 2006, the United States obtained 84.9% of its energy from hydrocarbons,** 8.2% from nuclear fuels, 2.9% from hydroelectric dams, 2.1% from wood, 0.8% from biofuels, 0.4% from waste, 0.3% from geothermal, and 0.3% from wind and solar radiation. The U.S. uses 21 million barrels of oil per day 27% from OPEC, 17% from Canada and Mexico, 16% from others, and 40% produced in the U.S. (95). The cost of imported oil and gas at \$60 per barrel and \$7 per 1,000 ft³ in 2007 is about \$300 billion per year.

Пока прогнозируется, что совокупные выбросы стран к 2030 году составят не менее 60 млрд. т. в CO₂ эквиваленте, а глобальный уровень выбросов для сохранения температуры на уровне 2°C всего 40 млрд. т. в CO₂ эквиваленте. Это говорит о возможности роста температуры к 2100 году на 2,7–3,5 °C по сравнению с доиндустриальным уровнем. В реальности, чтобы выполнить условия Парижского соглашения, США придётся ограничить выбросы до 48% от уровня 2005 года.

Развивающиеся страны настаивают на повышении температуры по отношению к доиндустриальному уровню на $1,5^{\circ}\text{C}$, а не 2°C . В Бонне в 2017 году развитые страны настаивали на подведении итогов выполнения соглашения не в 2023 году, а в 2018 году и проведении «стимулирующего диалога», т.е. создания большего давления на страны. Это не оставляет США никаких шансов на переговорах и ведет к потере гегемонии в экономике.

Под новые «климатические» приоритеты выстраивается линейка требований, регламентов и практик: стандарты энергетического менеджмента, принципы наилучших доступных технологий и др.

Планируется активное субсидирование «зелёной» экономики. Основными получателями средств должны стать корпорации Запада, а плательщиками – подавляющее число стран мира. Однако, Китай перепутал все карты Запада, став одним из основных поставщиков «зелёного» оборудования. Деньги от заказов «зелёного» оборудования начинают идти в китайский карман.

Справочно: Технические условия выхода из Парижского соглашения: подать заявку можно только через три года после его ратификации, сам выход займёт один год, т.е. это может произойти после завершения президентства Трампа, если он не сохранит свой пост на следующий четырёхлетний период.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!