

Аэрозоли и изменения климата

Володин Е.М., Кострыкин С.В.

volodinev@gmail.com

Аэрозоли – это вещества, взвешенные в воздухе. Характерные размеры частичек таких веществ составляют обычно от 0.001 мкм до 100 мкм.

Основные аэрозоли:

Пыль, морская соль (в основном естественные)

Сульфаты, сажа, органический углерод, нитраты (в основном антропогенные)

Если вещество гигроскопичное (гидрофильное), то частица аэрозоля данного вещества состоит также из воды. Чем больше относительная влажность воздуха, тем больше воды в частичке аэрозоля.

Аэрозоли влияют на потоки радиации в атмосфере, прежде всего, солнечной.

Радиационные свойства аэрозолей характеризуются тремя параметрами: коэффициентом поглощения k , альбедо однократного рассеяния α и асимметрией индикатрисы рассеяния a .

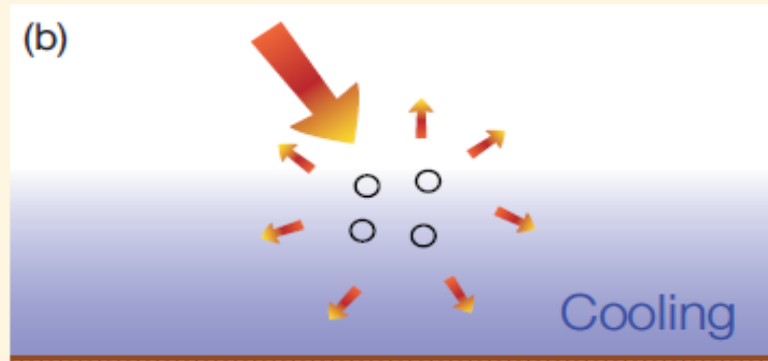
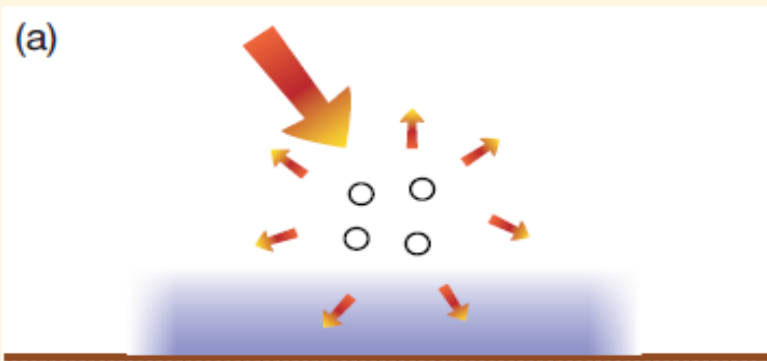
Оптическая толщина χ определяется как

$$d\chi = \rho k dz, \text{ или } \chi = \int \rho k dz$$

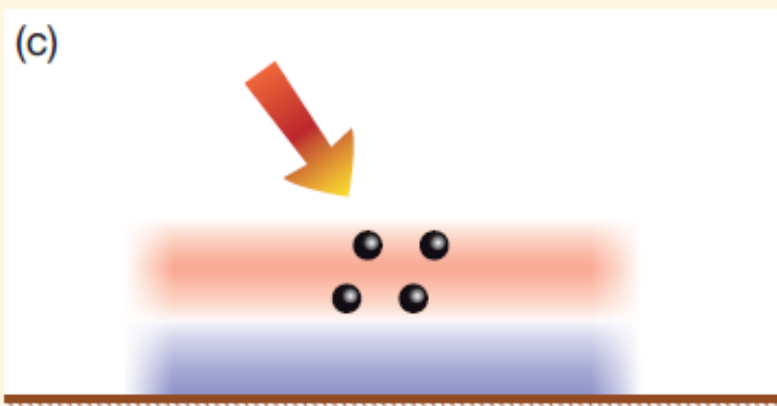
Прямое солнечное излучение F меняется с высотой в соответствии с уравнением $\partial F / \partial \chi = -F$.

Aerosol-radiation interactions

Scattering aerosols



Absorbing aerosols



Пыль – 0.9

Морская соль 0.9999

Сульфатный аэрозоль 0.9999

Черный углерод 0.11, органический углерод 0.95

Прямое солнечное излучение на поверхности земли F_S зависит от солнечного излучения на поверхности Земли F_0 следующим образом.

$$F_S = F_0 \exp(-\chi), \text{ или, при малых } \chi, F_S = F_0(1-\chi)$$

Воздействие вещества на климатическую систему характеризуется радиационным форсингом, т.е. разностью радиационного баланса с учетом этого вещества и без учета.

Радиационный форсинг на верхней границе атмосферы характеризует то, как данное вещество нагревает или охлаждает систему в целом.

Радиационный форсинг на поверхности Земли характеризует то, насколько меняется баланс тепла при введении вещества на поверхности Земли.

Разность радиационных форсингов на верхней границе атмосферы и поверхности земли равна потоку тепла, поглощаемому атмосферой в результате наличия данного вещества.

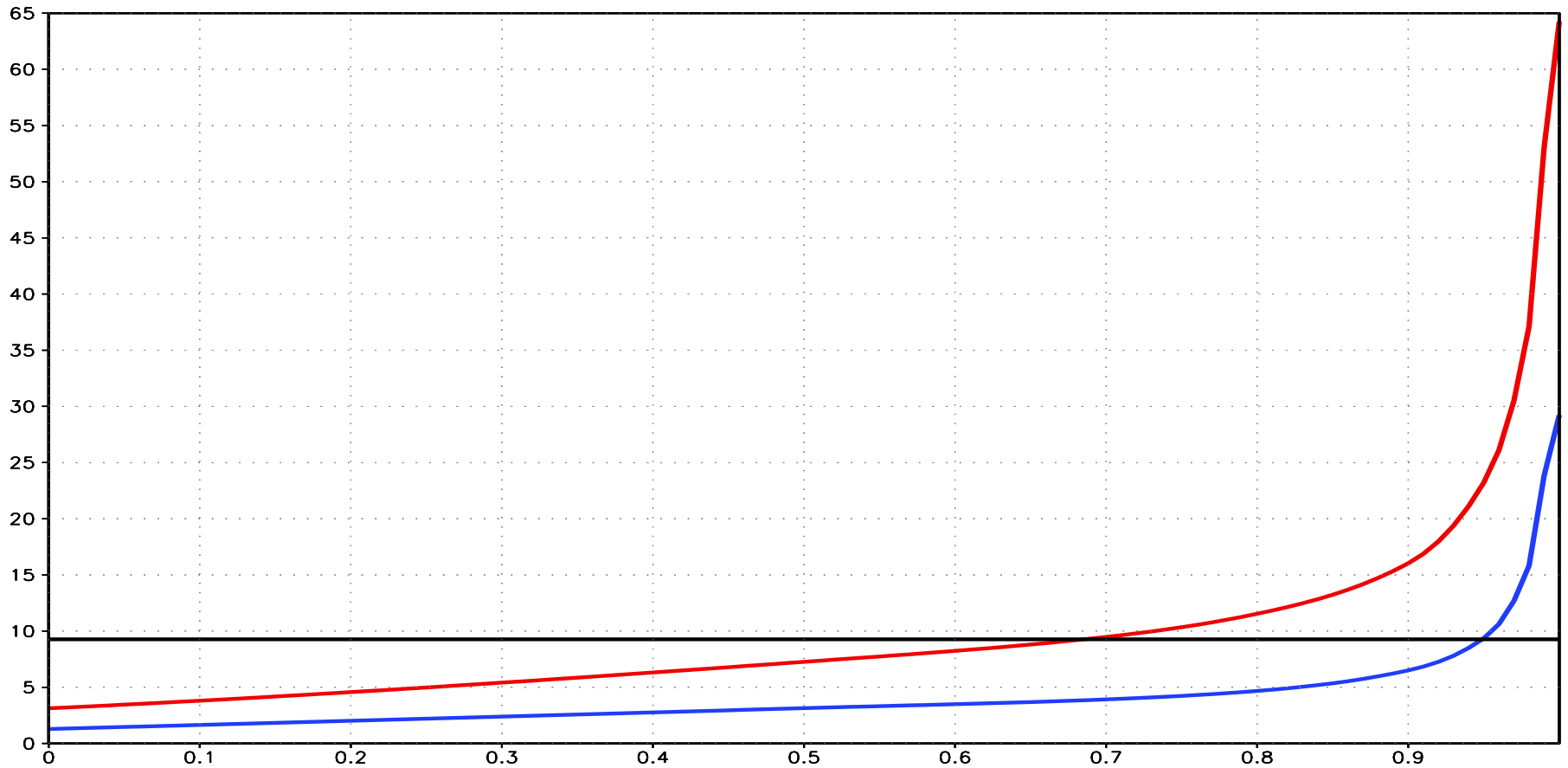
Современный радиационный форсинг от всех аэрозолей на верхней границе атмосферы составляет $-1 \dots -3$ Вт/м². Форсинг на поверхности $-2 \dots -6$ Вт/м². Атмосфера поглощает $1-3$ Вт/м² благодаря наличию аэрозолей.

2 Вт/м² на верхней границе примерно соответствуют 1-2 градусам приземной температуры.

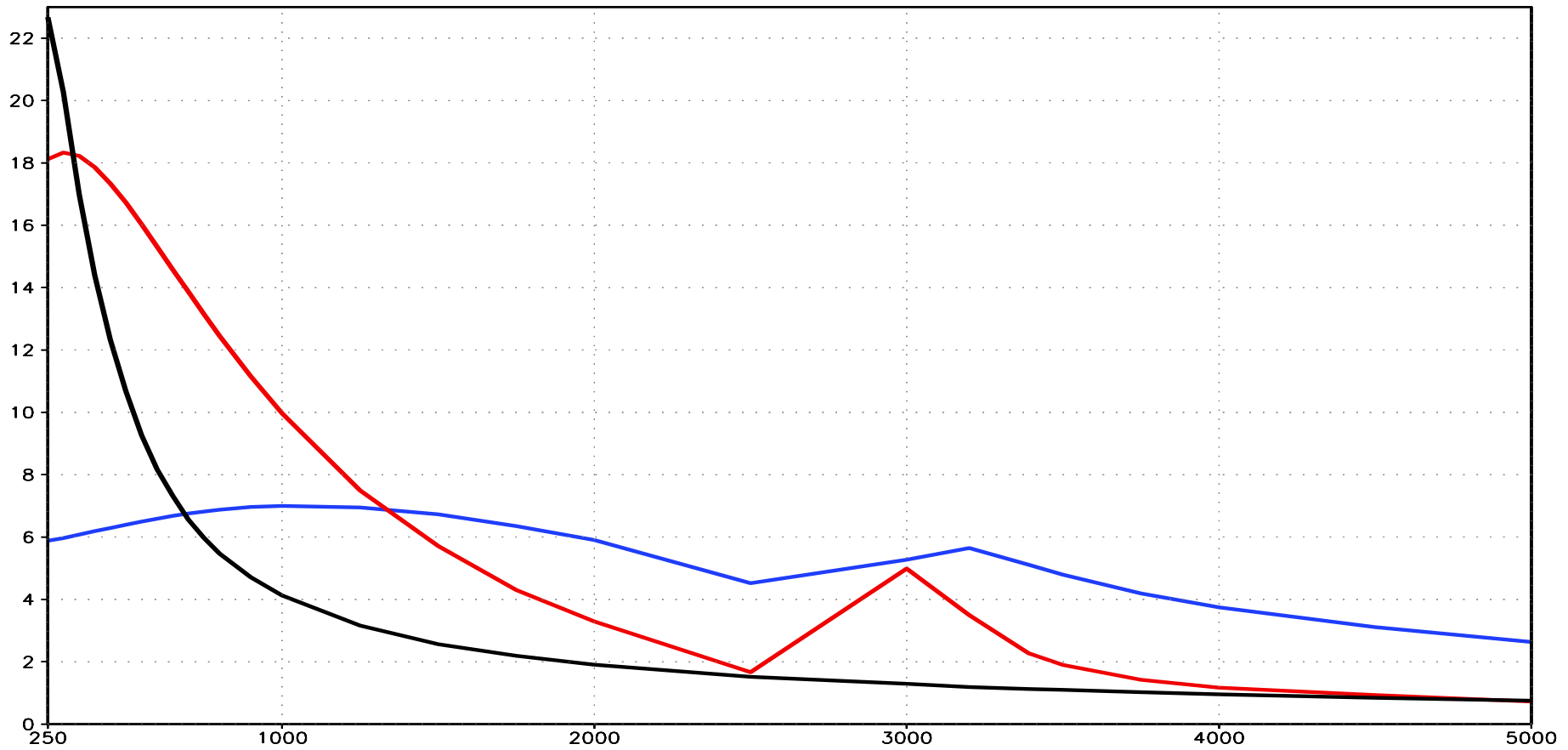
Прямой радиационный эффект аэрозолей понижает приземную температуру в среднем на 1-2 градуса.

Существующий сейчас парниковый эффект составляет около 30 градусов.

Зависимость k от относительной влажности для пыли (черн), морской соли (синий), сульфатного аэр. (красный)

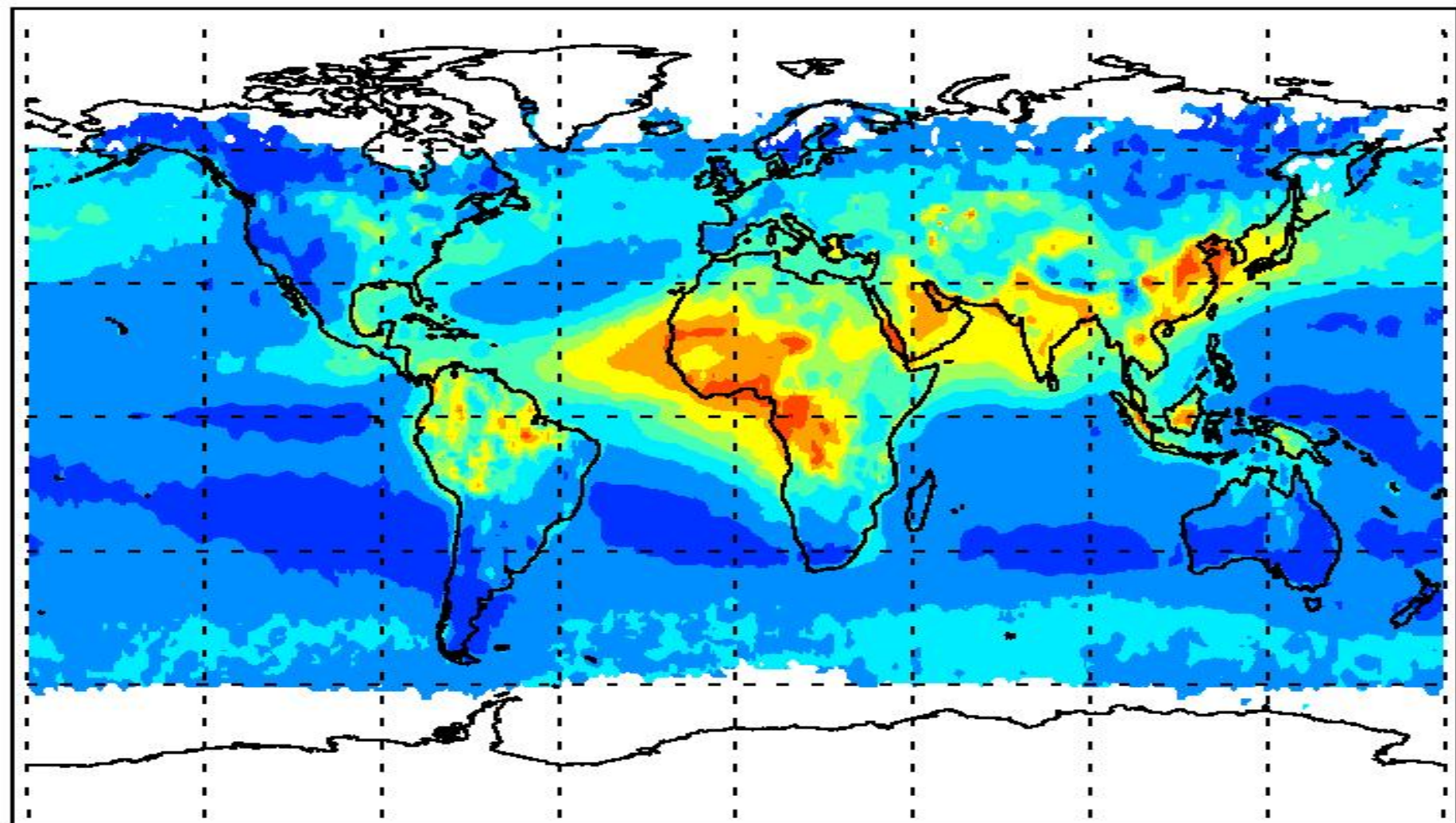


Зависимость k -та поглощения пыли (черн), соли (синий) и сульфатов (красн) от длины волны. $r_{hum}=0.90$

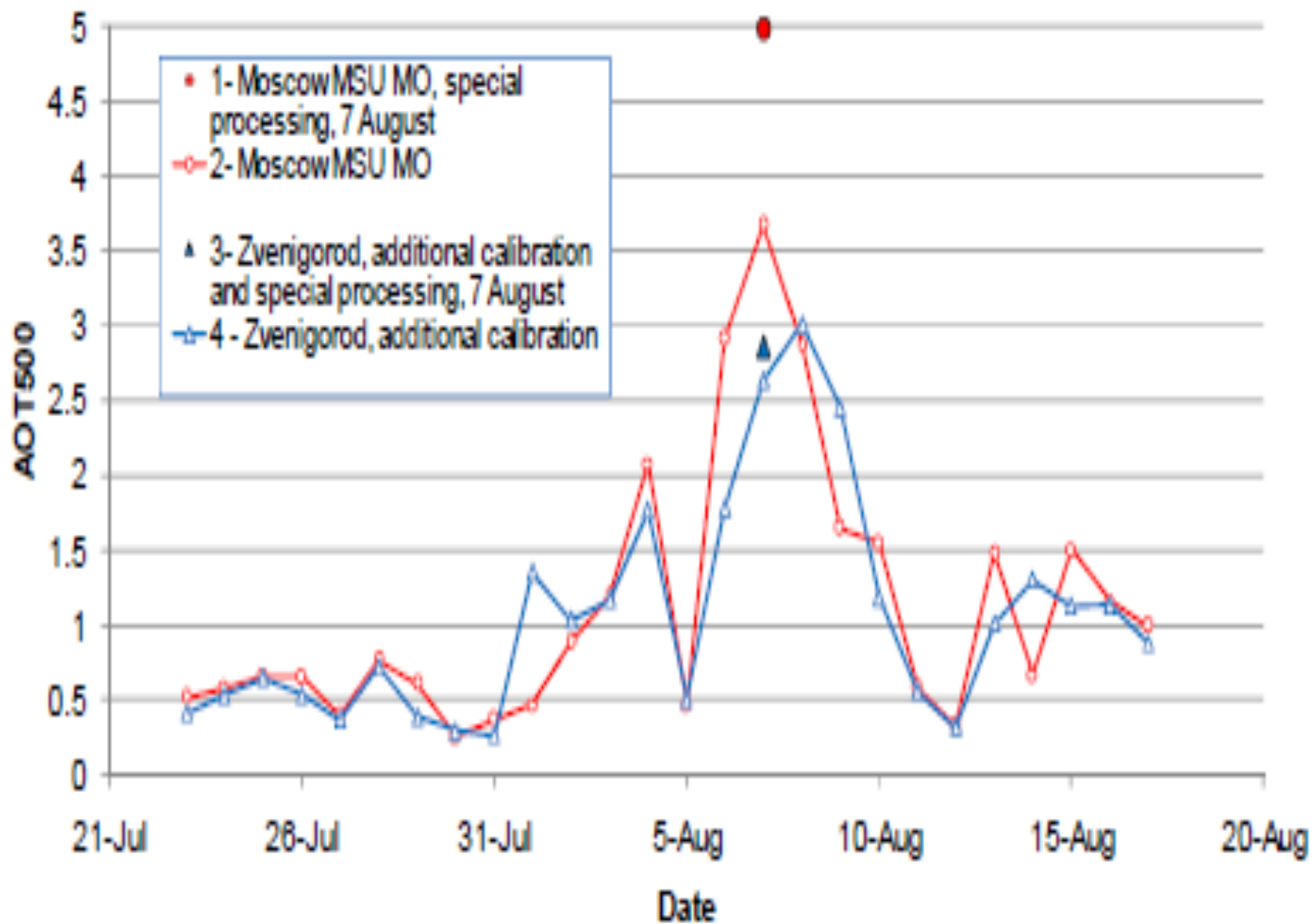


Наблюдаемая со спутника оптическая толщина аэрозолей

AOD MISR+MODIS

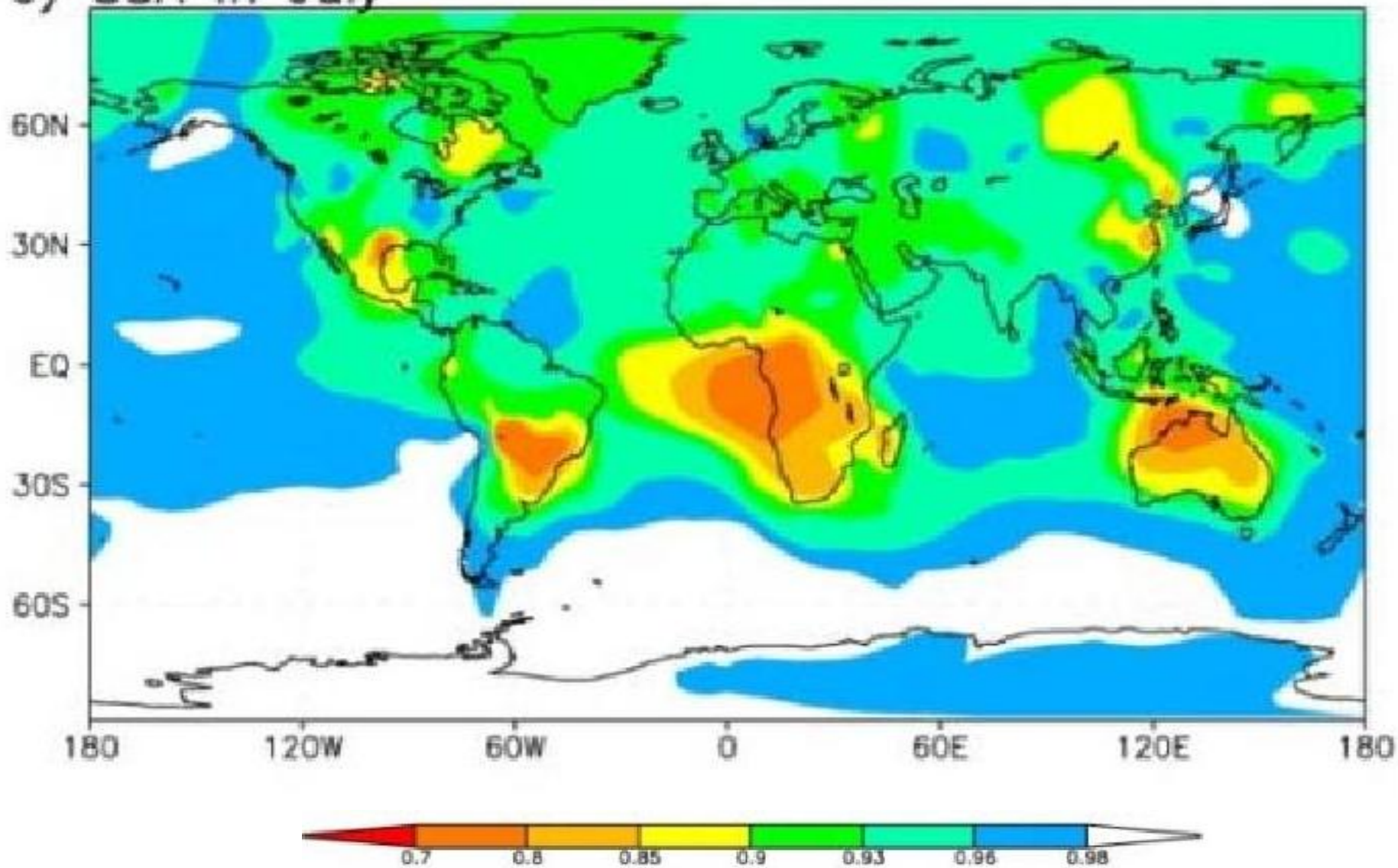


Оптическая толщина аэрозоля над Москвой летом 2010г. Предоставлено Чубаровой Н.Е.



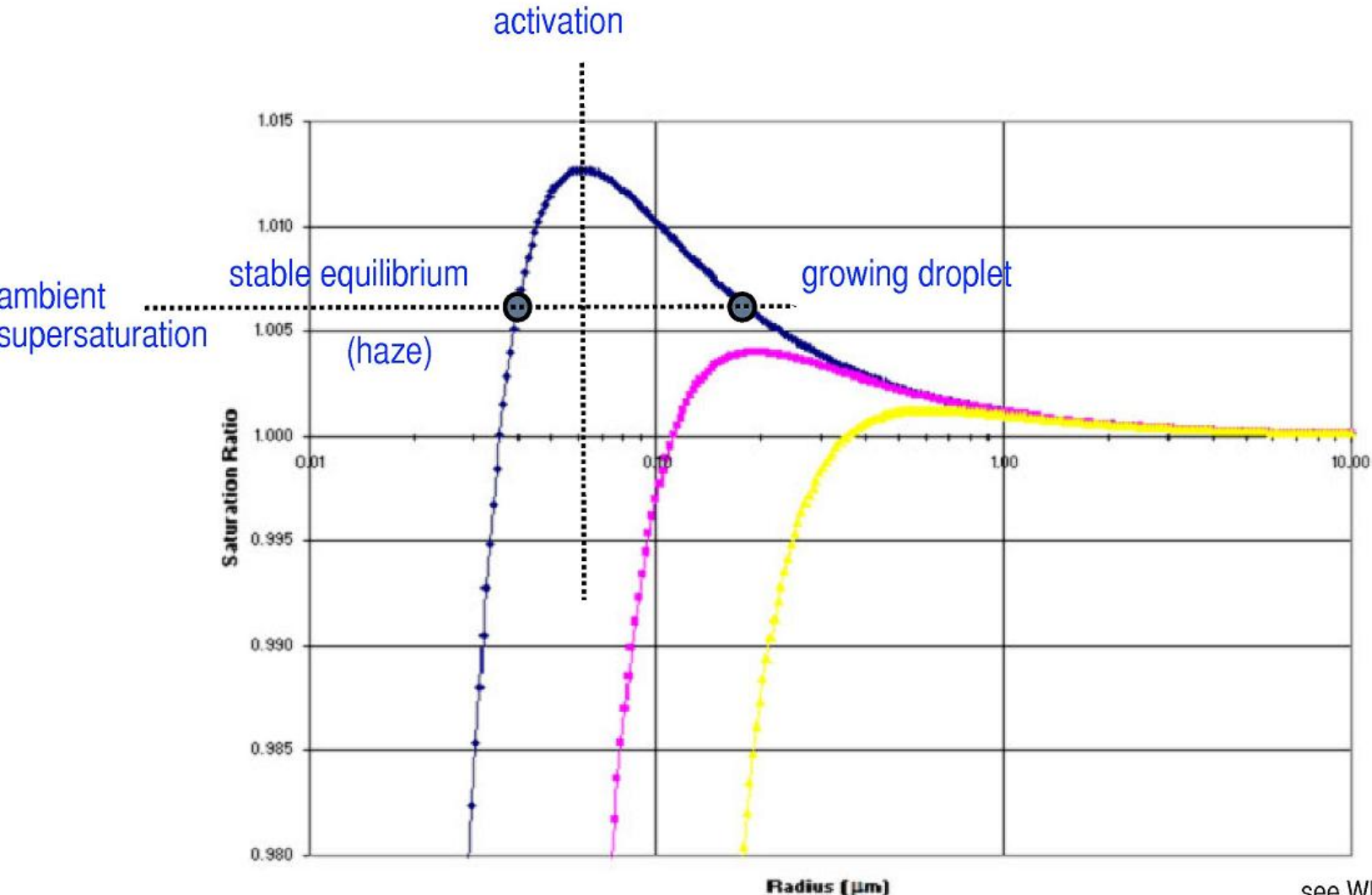
Альbedo однократного рассеяния в июле по данным AERONET

c) SSA in July



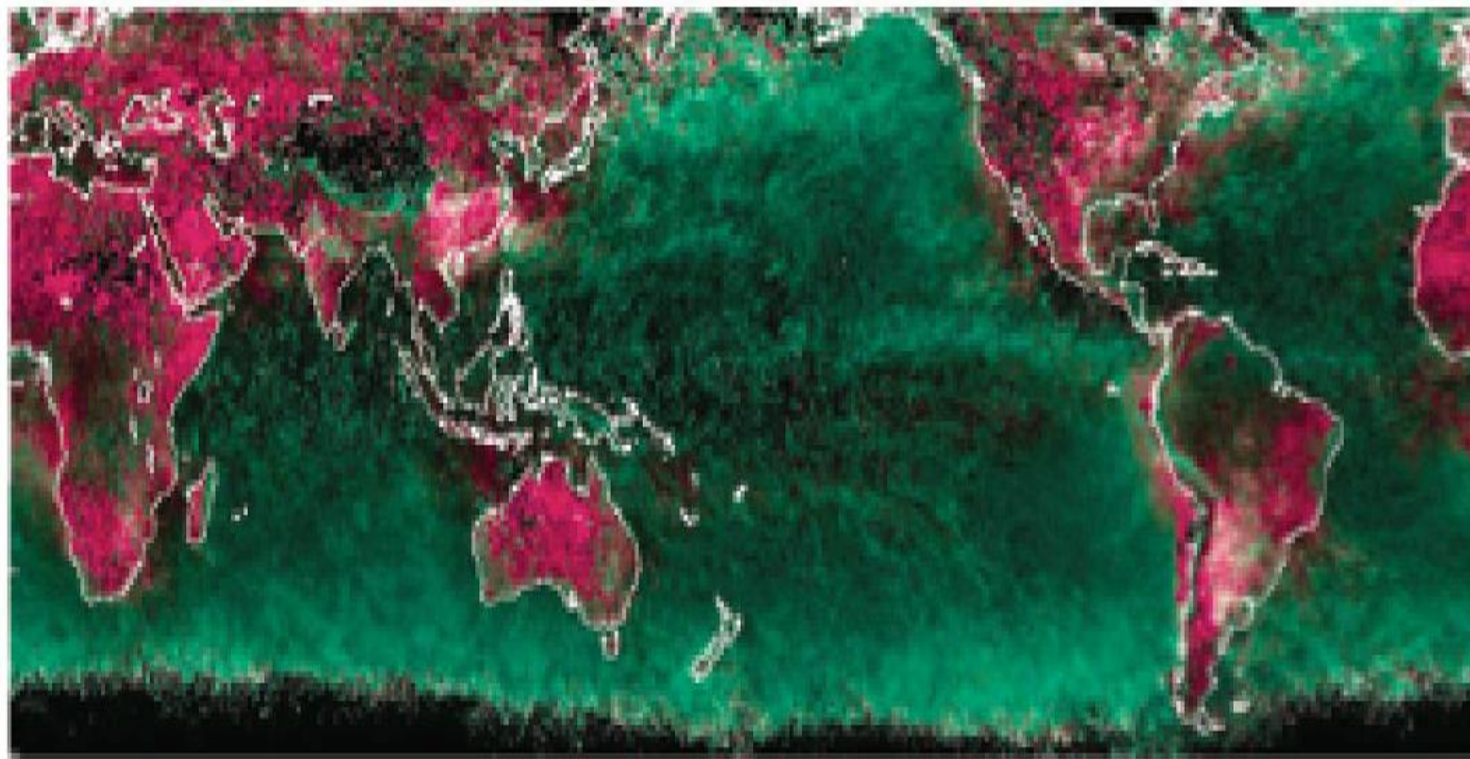
Непрямой эффект аэрозолей: мелкие гидрофильные аэрозоли являются ядрами конденсации, и поэтому влияют на радиус капель облаков, их альбедо, время жизни облачных капель.

KOHLER CURVES
for different chemical compositions



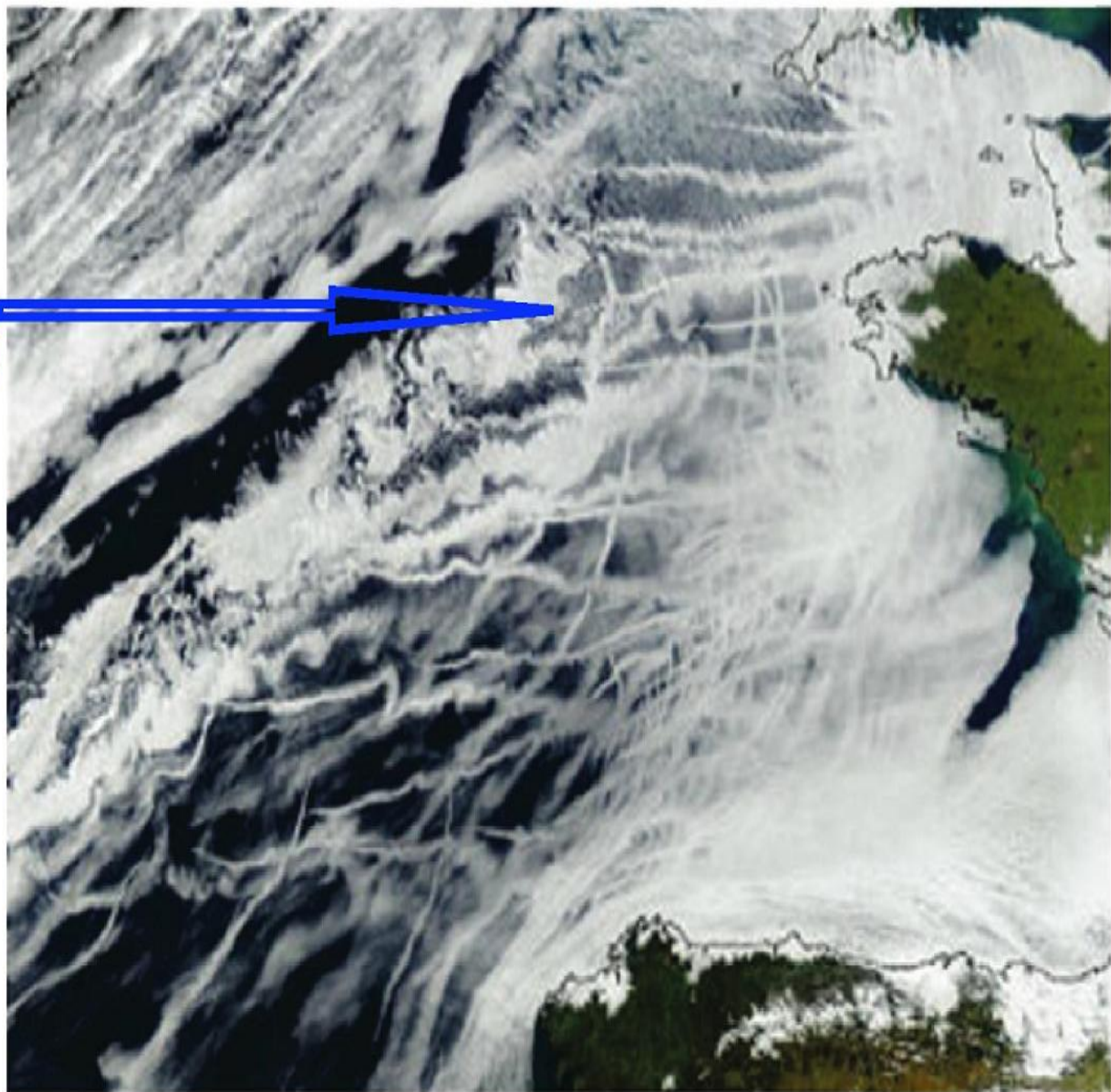
see WH figure 6.3 and 6.4

Радиус облачных капель

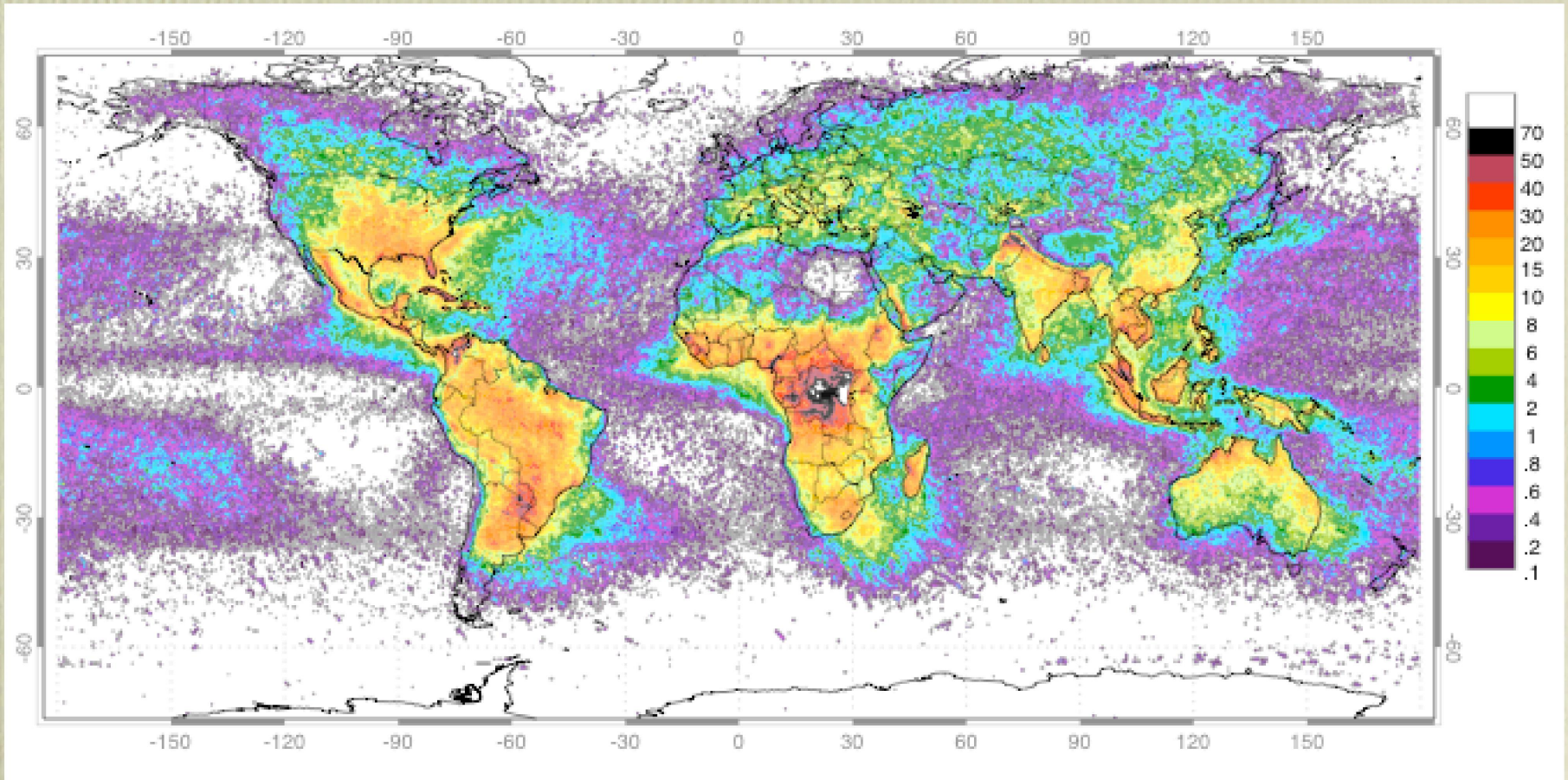


WH figure 6.8

ship tracks
(ships emit CCN)

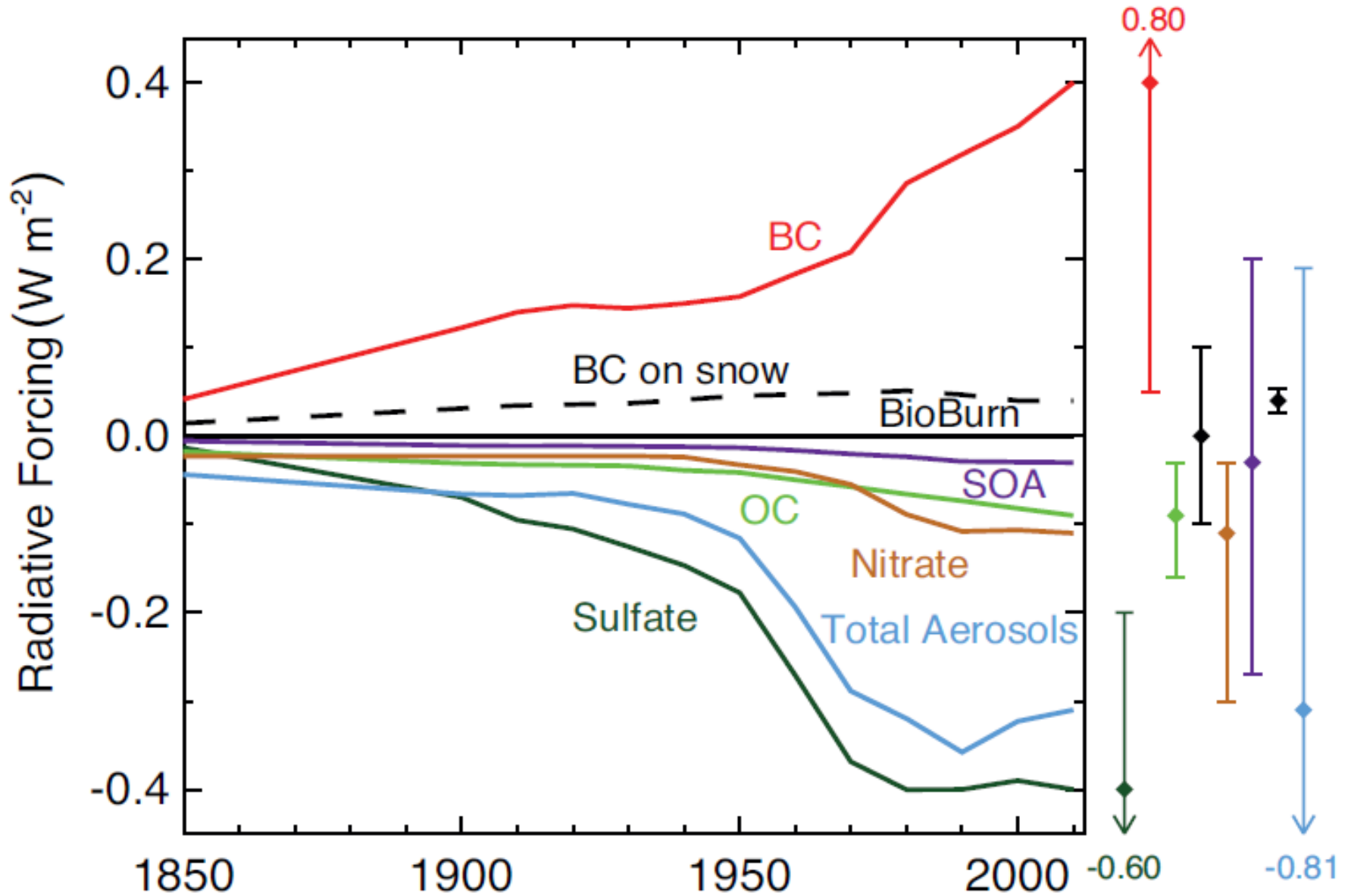


High Resolution Full Climatology Annual Flash Rate



Global distribution of lightning from a combined nine years of observations of the NASA OTD (4/95-3/00) and LIS (1/98-12/03) instruments

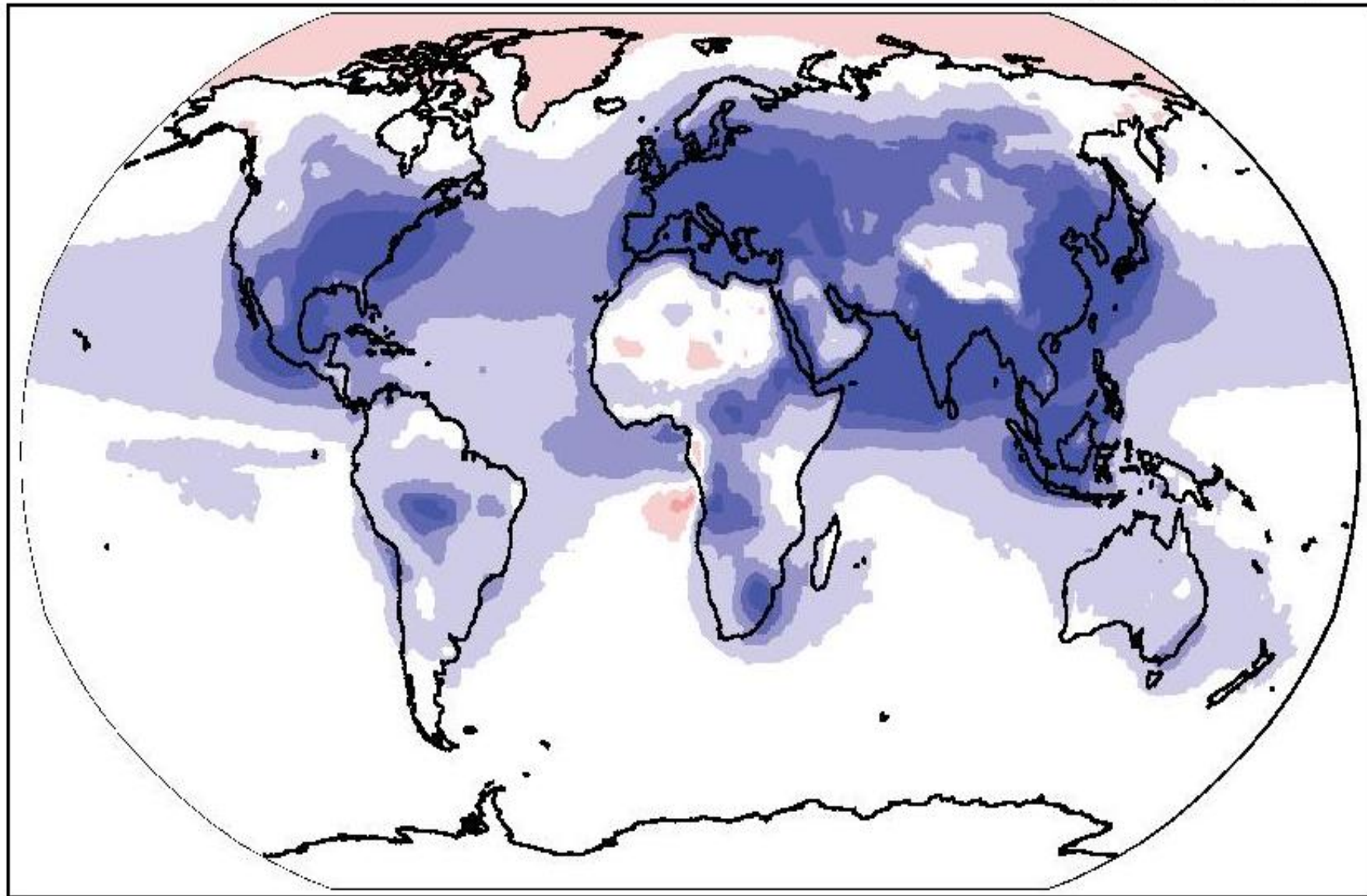
Изменение во времени радиационного форсинга от антропогенных аэрозолей



Оценка антропогенного аэрозольного радиационного форсинга

-0.27 W m^{-2}

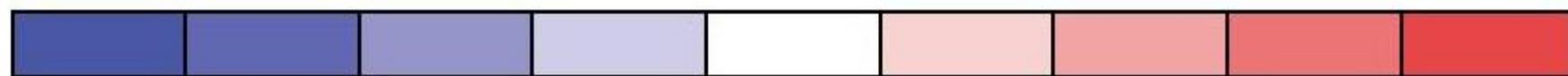
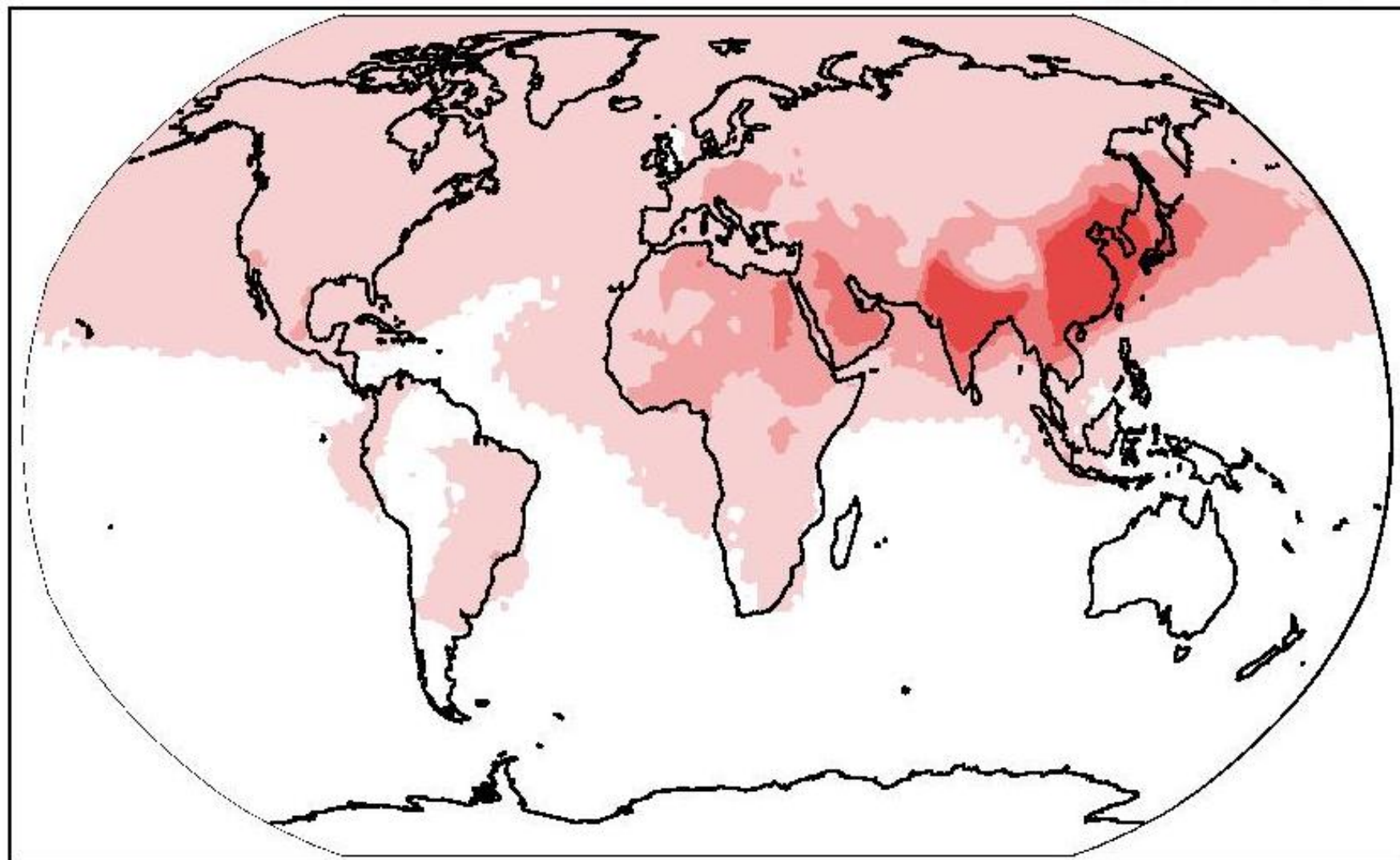
AeroCom



Оценка радиационного форсинга от черного углерода

0.18 W m^{-2}

AeroCom



-0.88 -0.62 -0.38 -0.12 0.12 0.38 0.62 0.88

Radiative forcing of climate between 1750 and 2011

Forcing agent

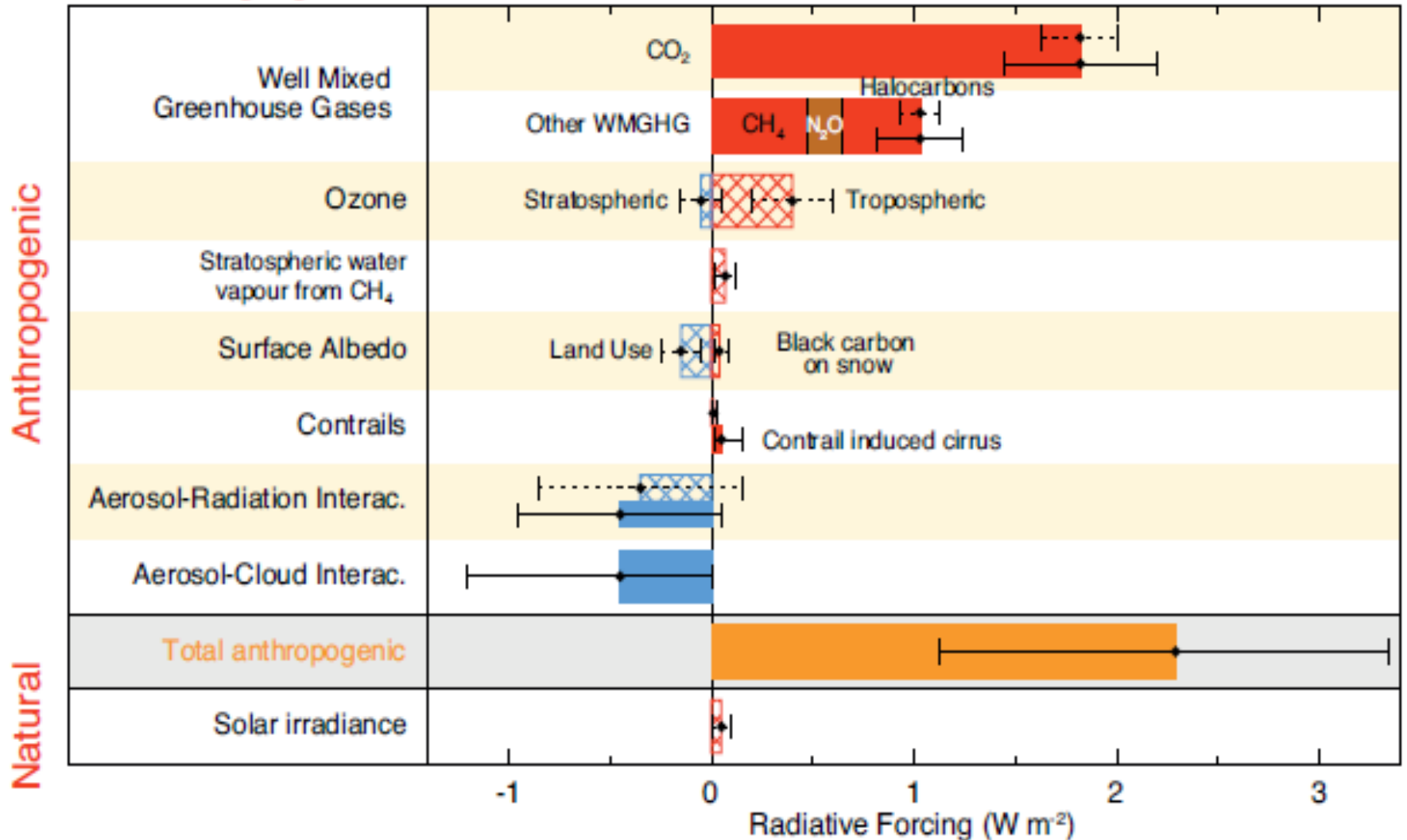
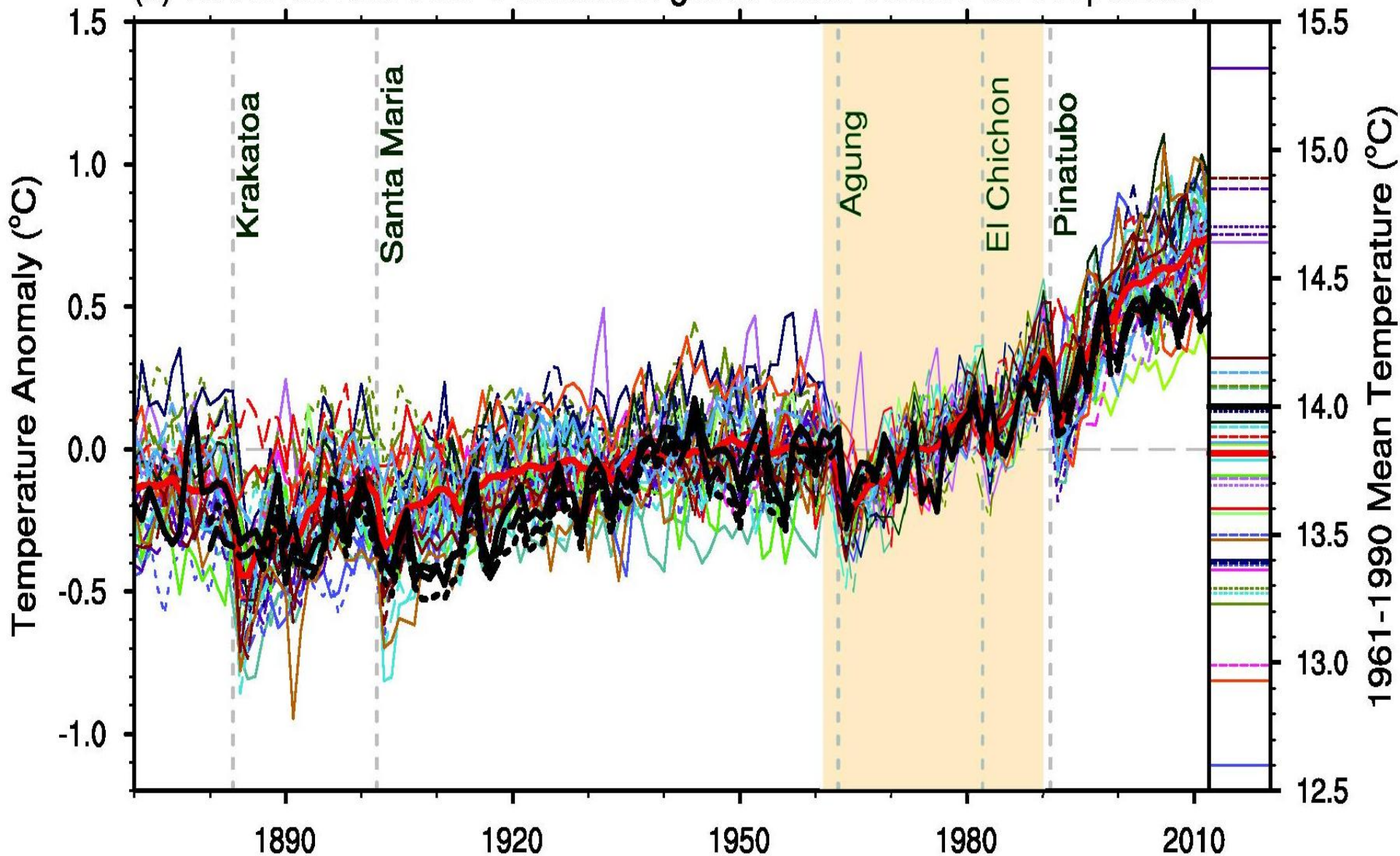


Figure 8.15 | Bar chart for RF (hatched) and ERF (solid) for the period 1750–2011, where the total ERF is derived from Figure 8.16. Uncertainties (5 to 95% confidence range) are given for RF (dotted lines) and ERF (solid lines).

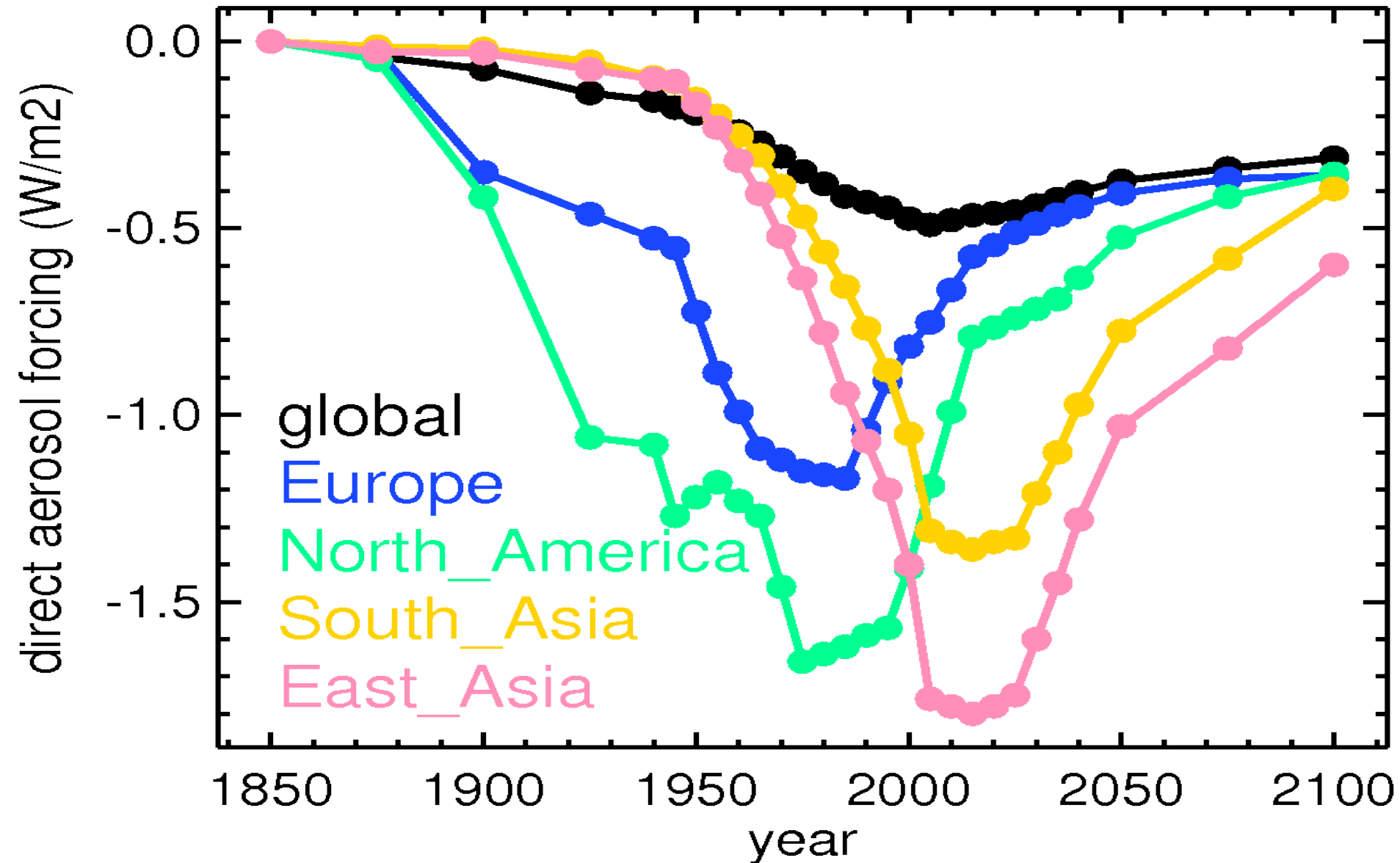
Рост температуры в 20 веке в моделях CMIP5. Межмодельный разброс заметно меньше, чем для равновесной чувствительности (2.1-4.7K)

(a) Observed and CMIP5 simulated global mean surface air temperature

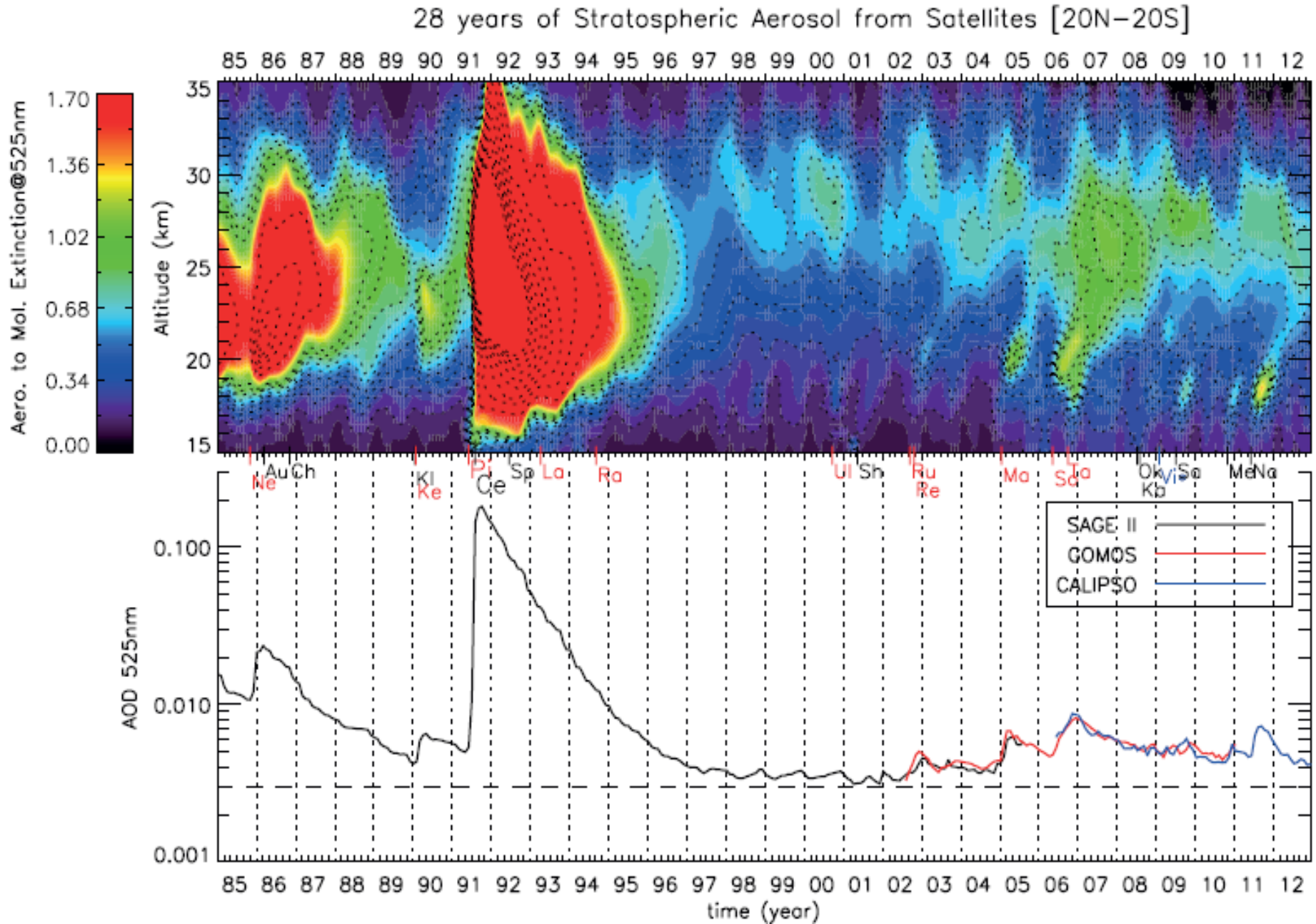


Изменение прямого антропогенного аэрозольного форсинга

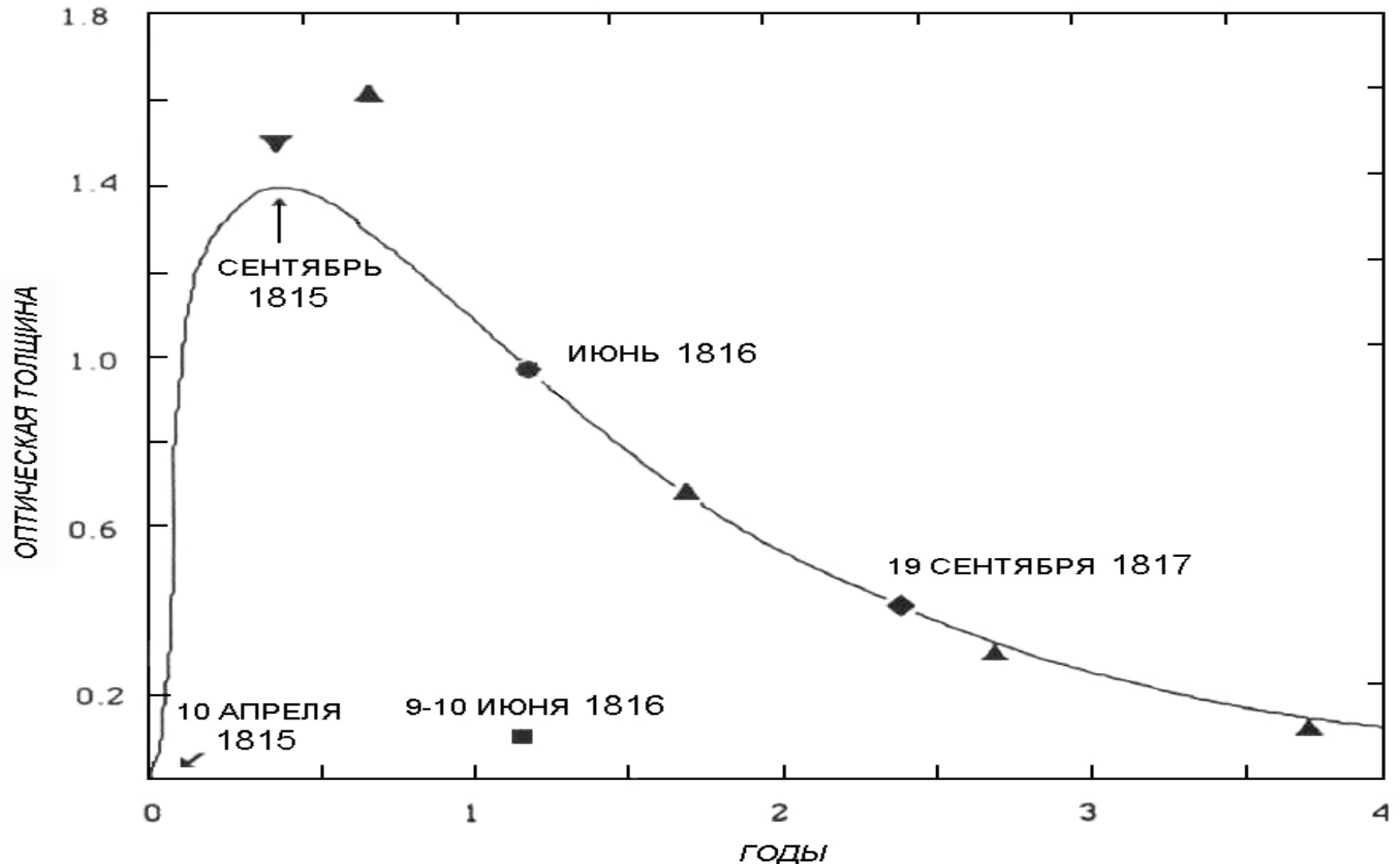
aerosol anthropogenic changes



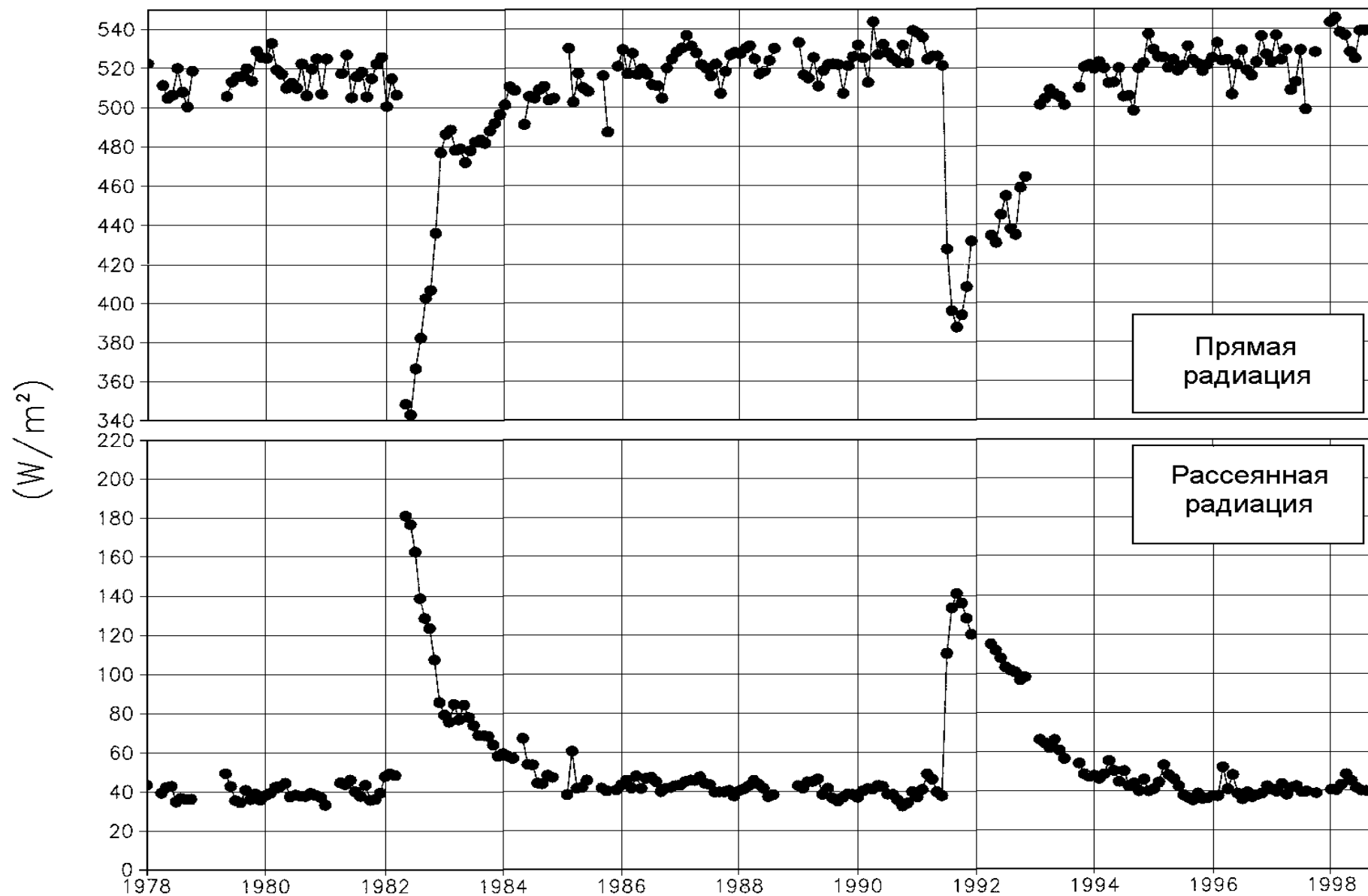
Оптическая толщина стратосферного сульфатного аэрозоля



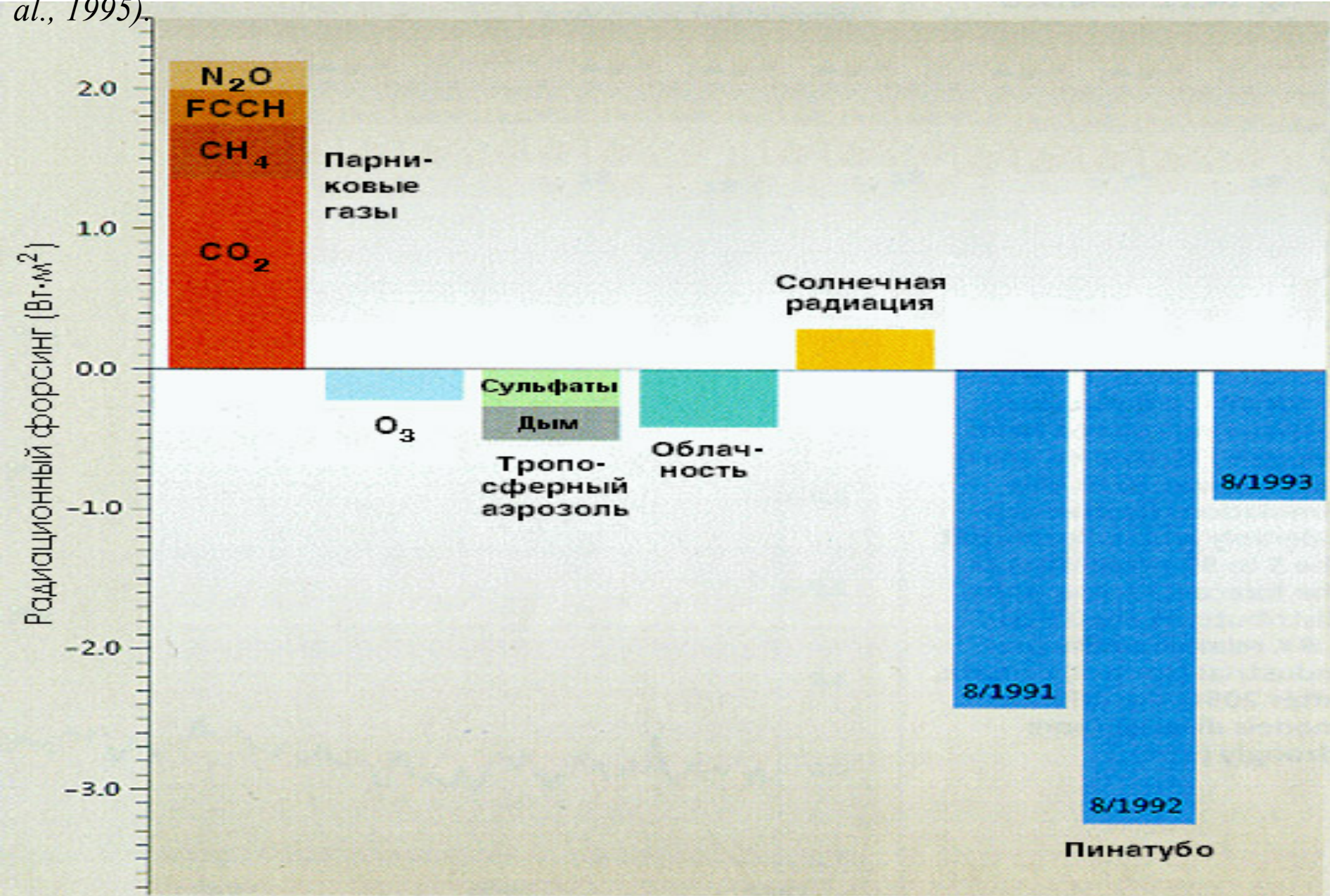
Изменение оптической толщины после извержения вулкана Тамбора (1815) по Стосерсу (Stothers, 1984). Кружками и ромбиками отмечены величины (τ_s), полученные по визуальным наблюдениям за яркостью звезд, темными квадратами – по наблюдениям за лунными затмениями, пирамидки обозначают (τ_s), оцененные по данным о кислотности Гренландского льда.



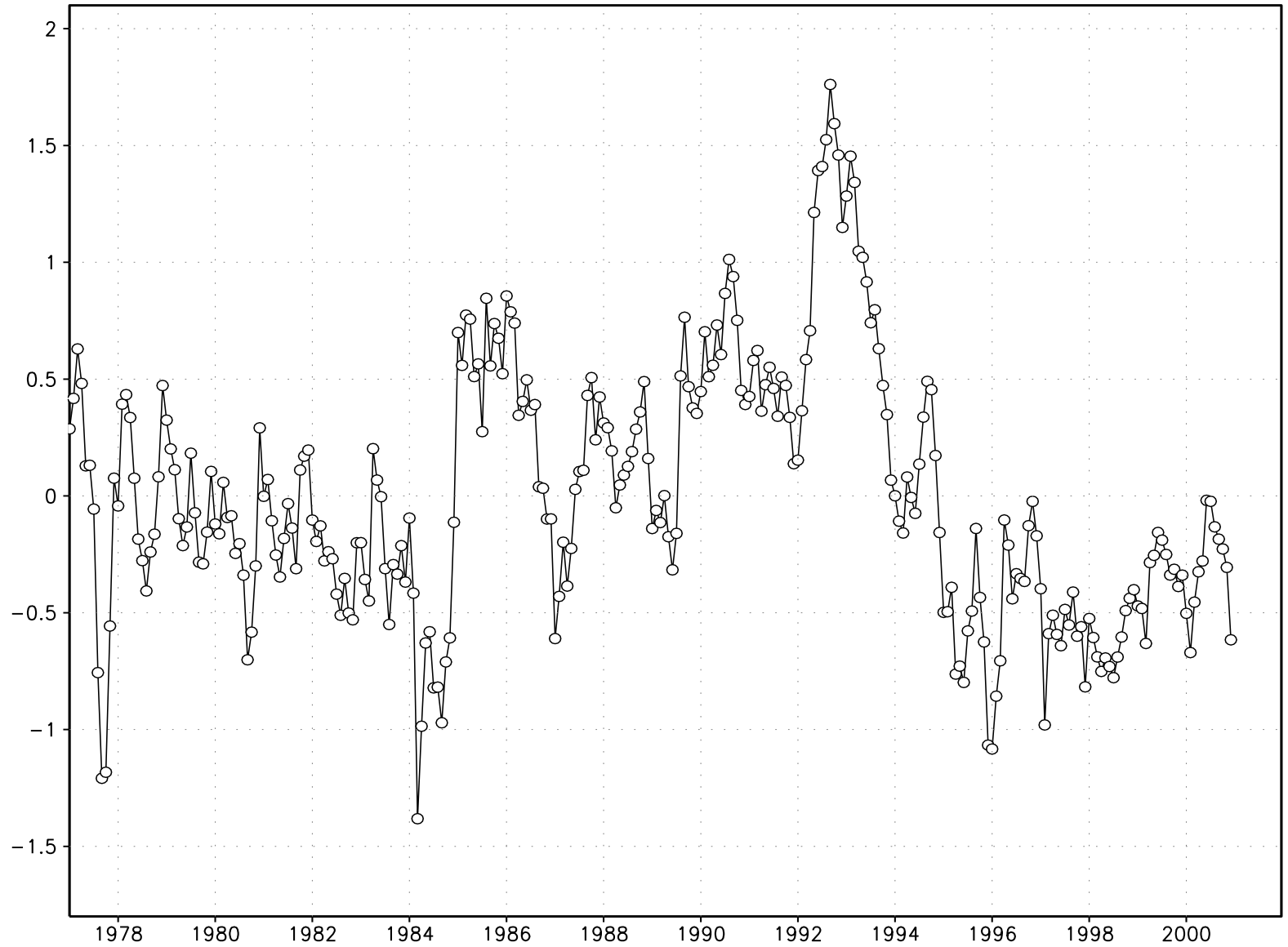
Изменение прямой и рассеянной радиации на ст. Мауна Лоа после извержения вулканов Эль Чичон (1982) и Пинатубо (1991). По (Робок, 2000).



Сравнительная оценка радиационного форсинга от «парниковых» газов и увеличения концентрации стратосферного аэрозоля после извержения Пинатубо (По McCormick et al., 1995).

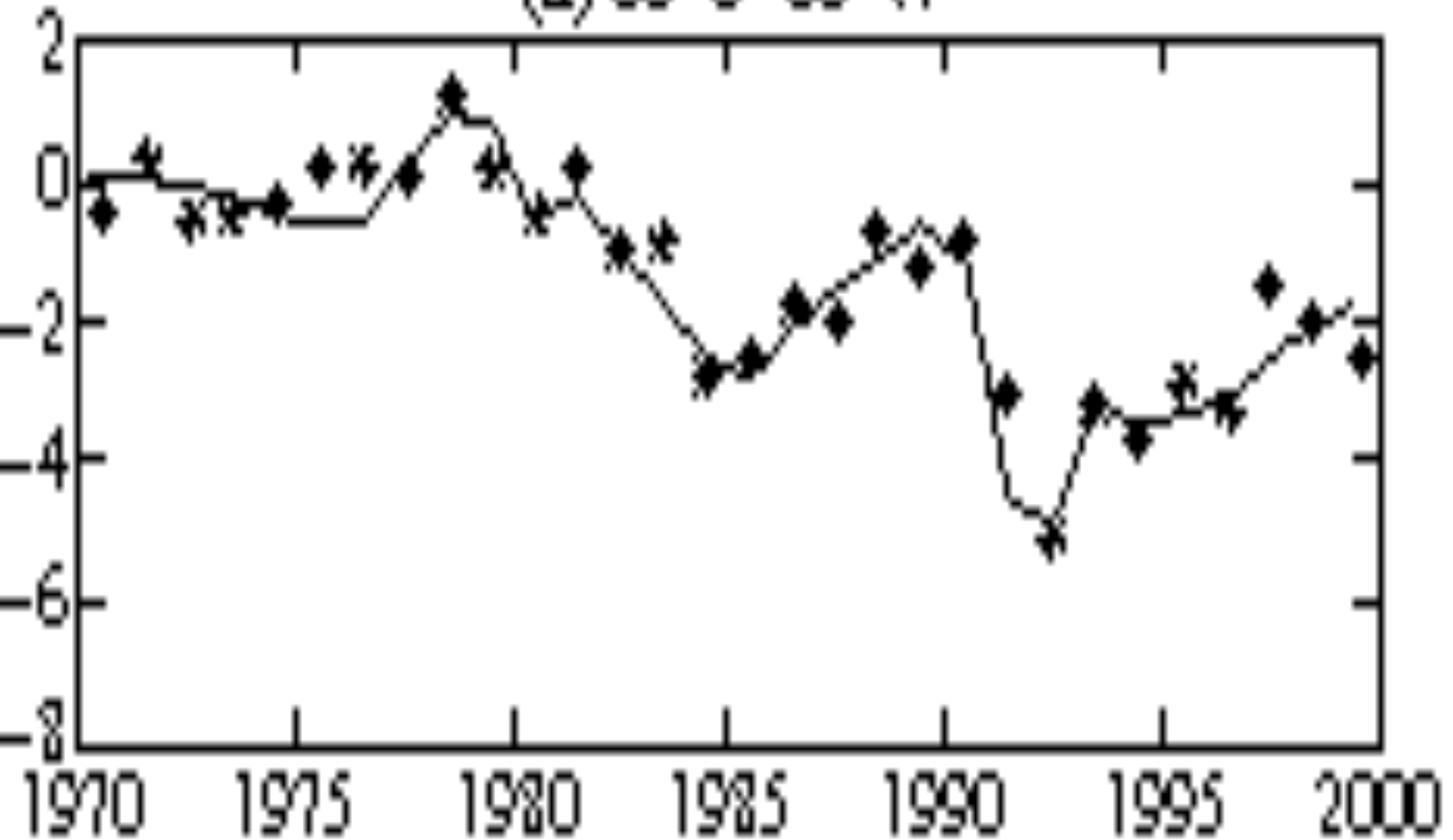


Аномалия температуры на 30 мб (ERA)

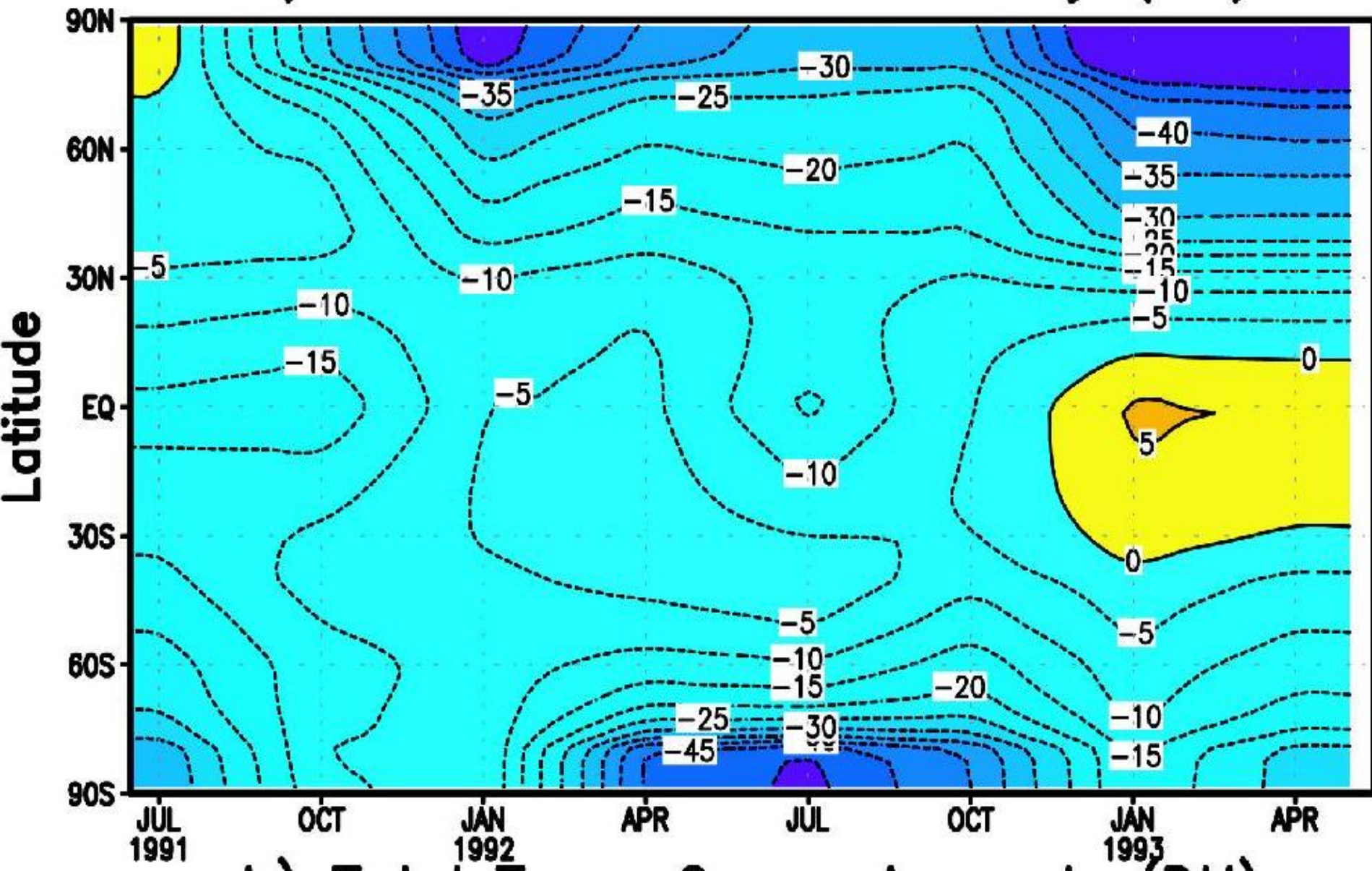


Аномалия ОСО по данным модели и наблюдений

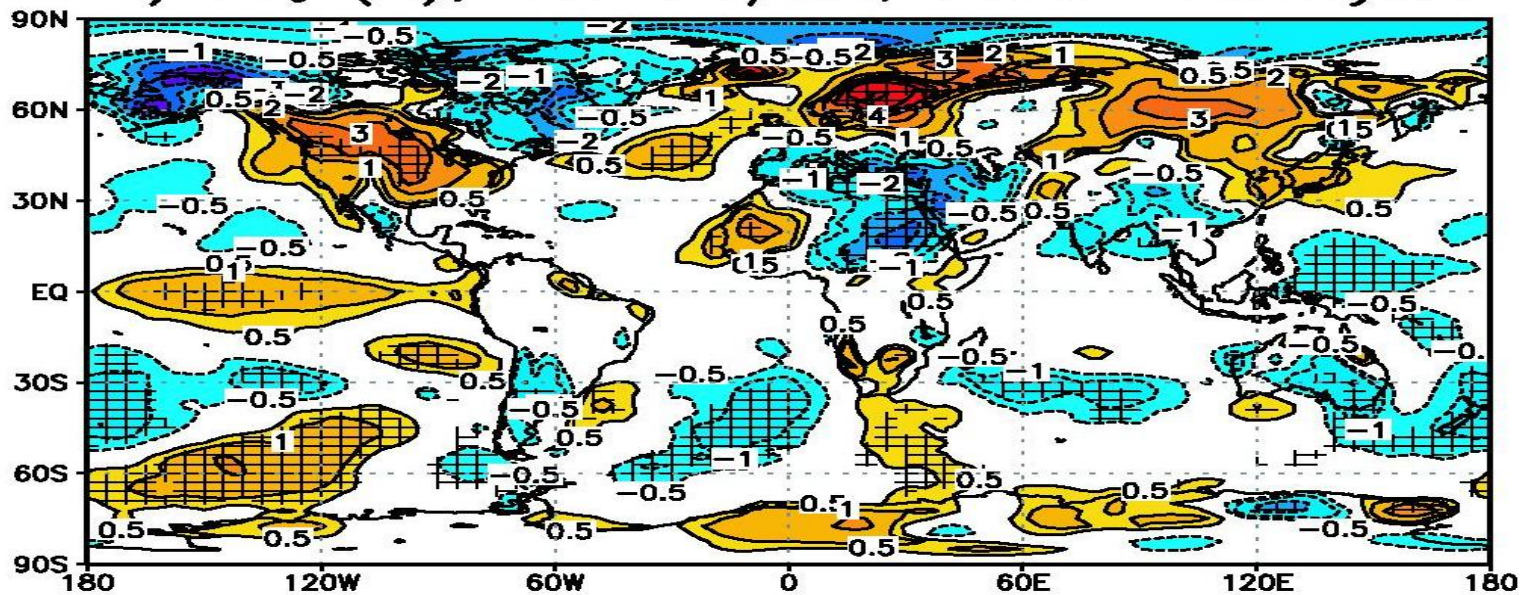
(a) 60° S - 60° N



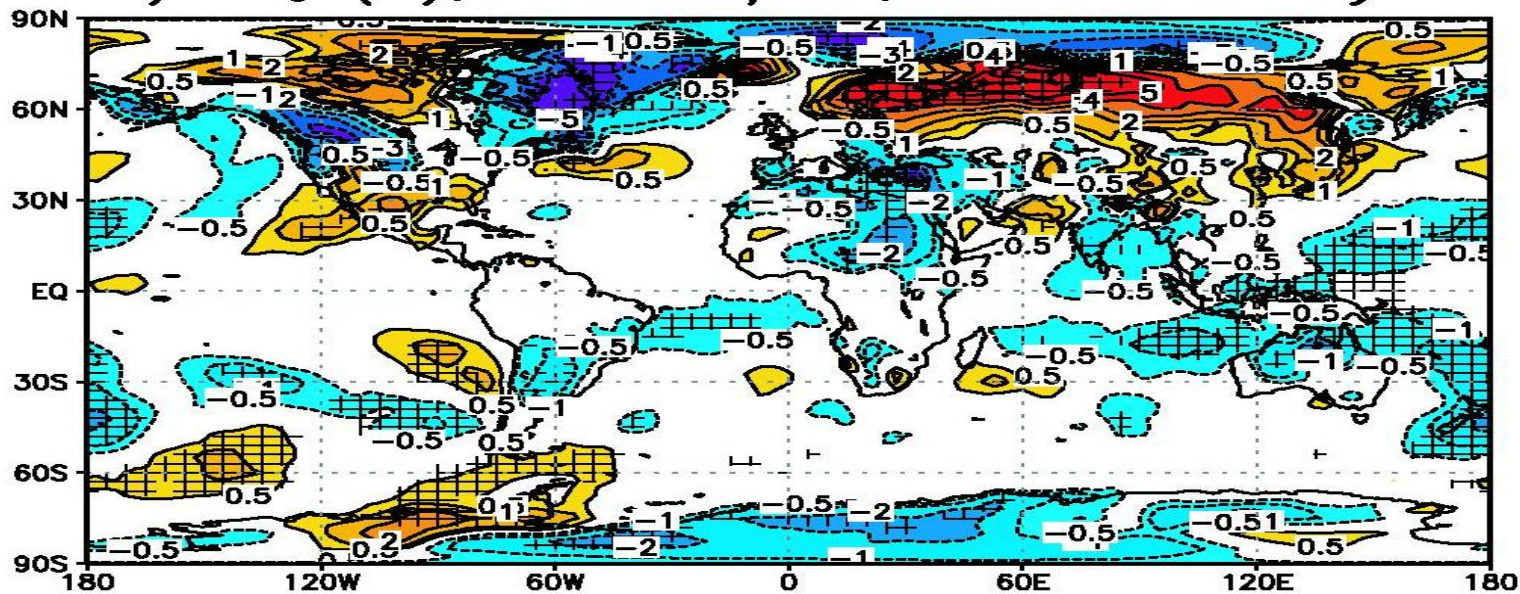
a) Total Ozone Anomaly (DU)



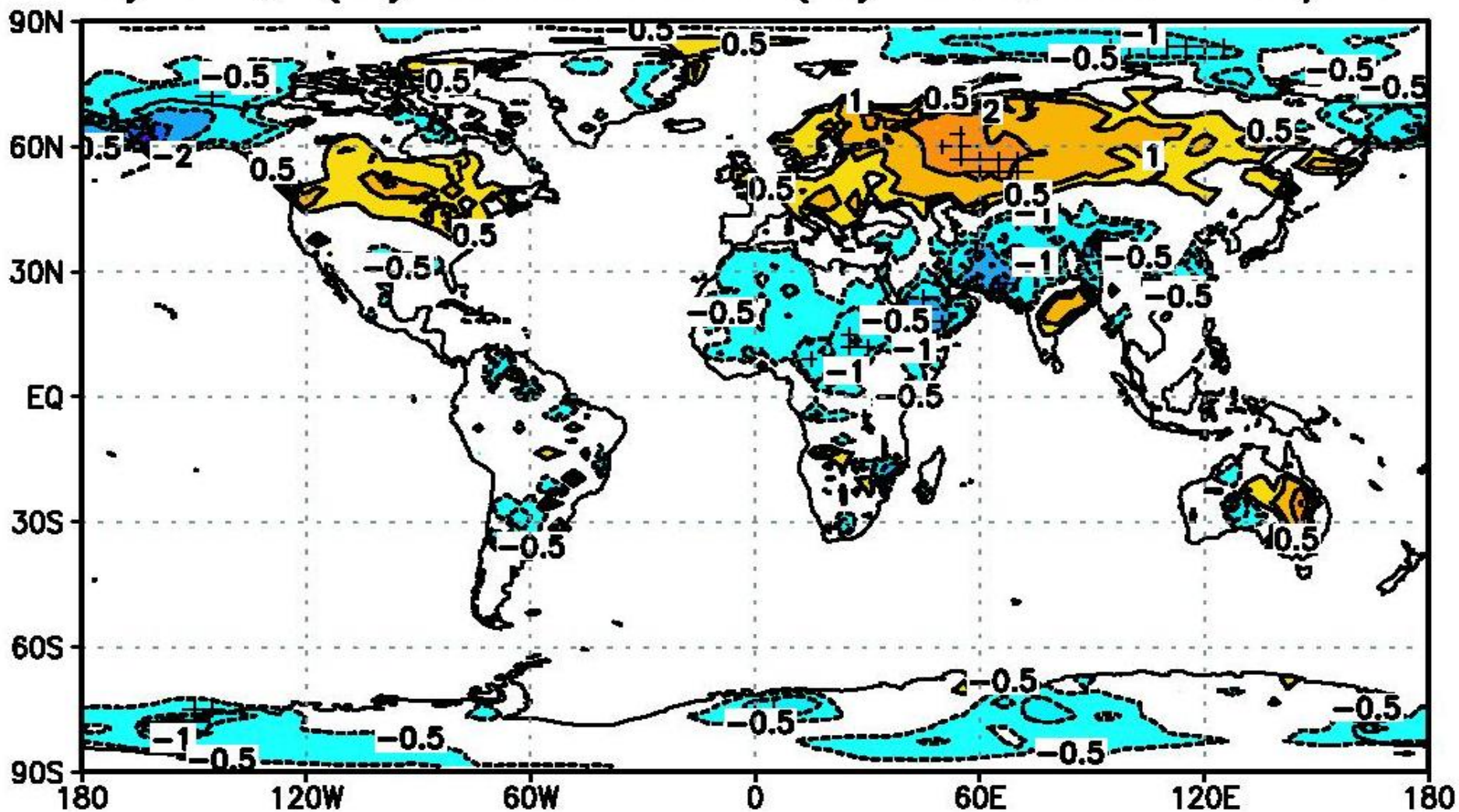
a) ΔT_s (K), DJF 91/92, NCEP reanalysis



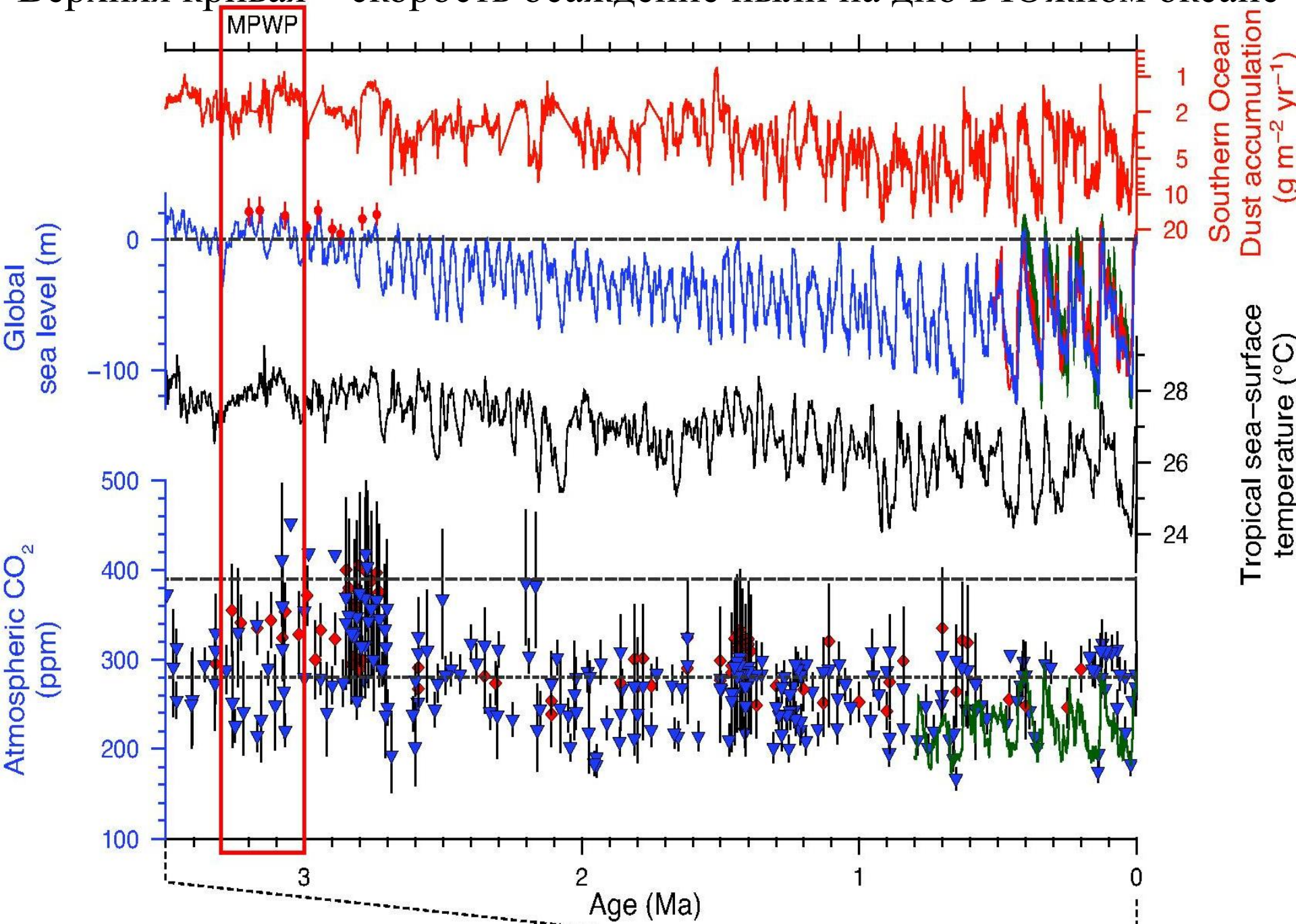
b) ΔT_s (K), DJF 92/93, NCEP reanalysis

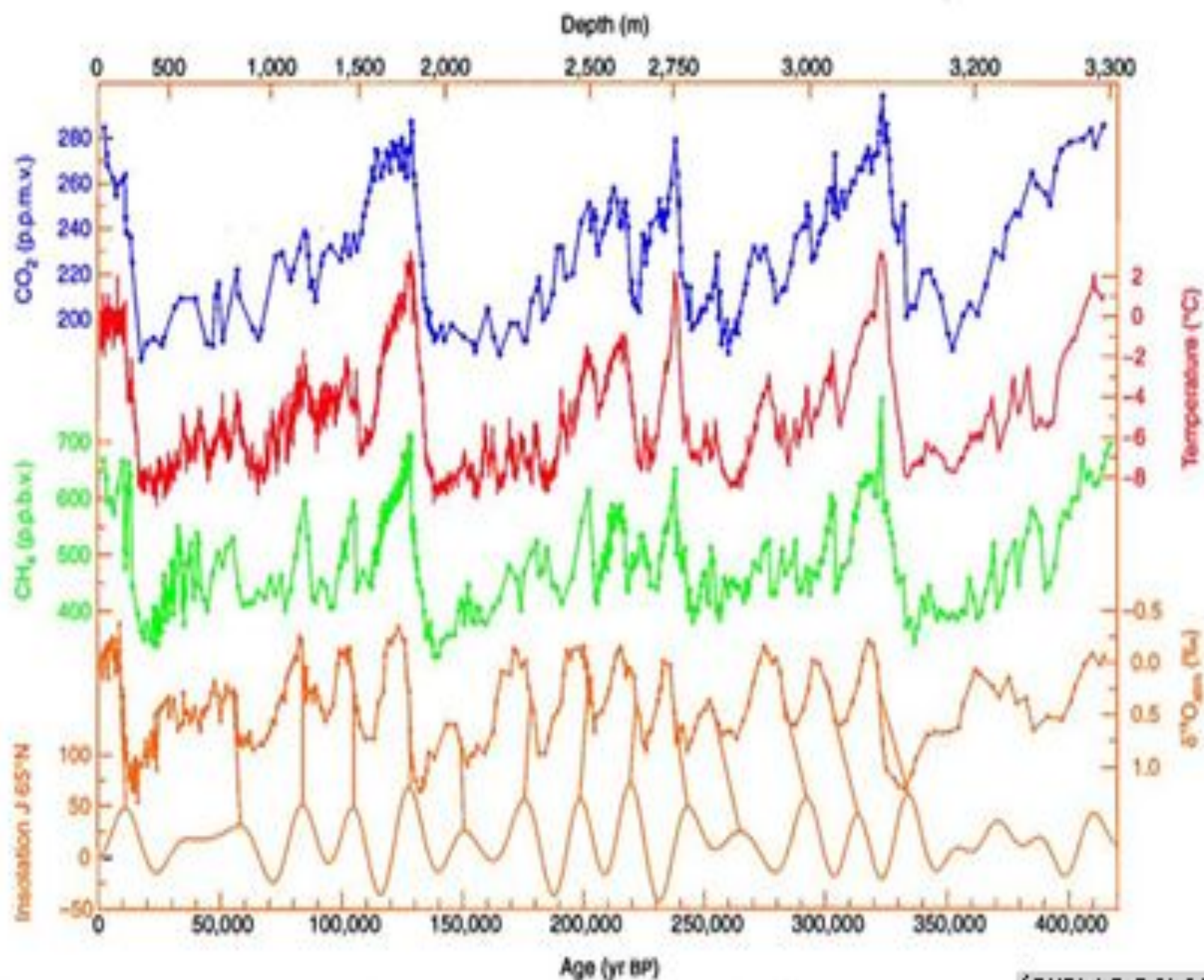


b) ΔT_s (K) ensemble (C) avr, DJF 92/93



Верхняя кривая – скорость осаждение пыли на дно в Южном океане





(PUBLIC DOMAIN)

Современный углеродный цикл

Атмосфера 750 Гт + 3.5 Гт/год

↓ 60 + 5.5

↑

Растения 550 Гт

↑

↑ 60 + 2 + 2

↓ +2

↓ 60 + 4.5

↑

Океан 38000 Гт

↑

+6

Почва 1500 Гт → →

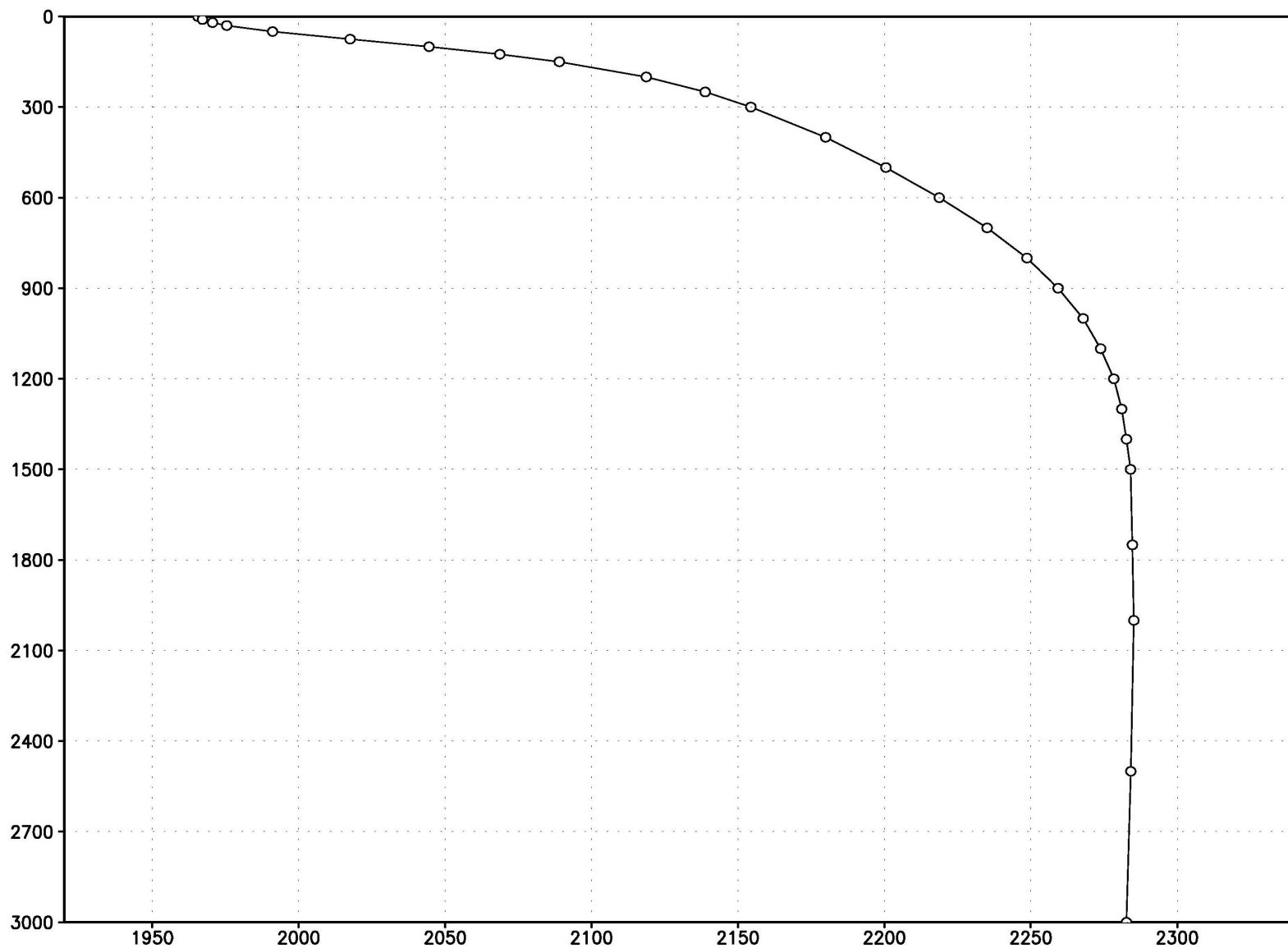
↑

Ископаемое

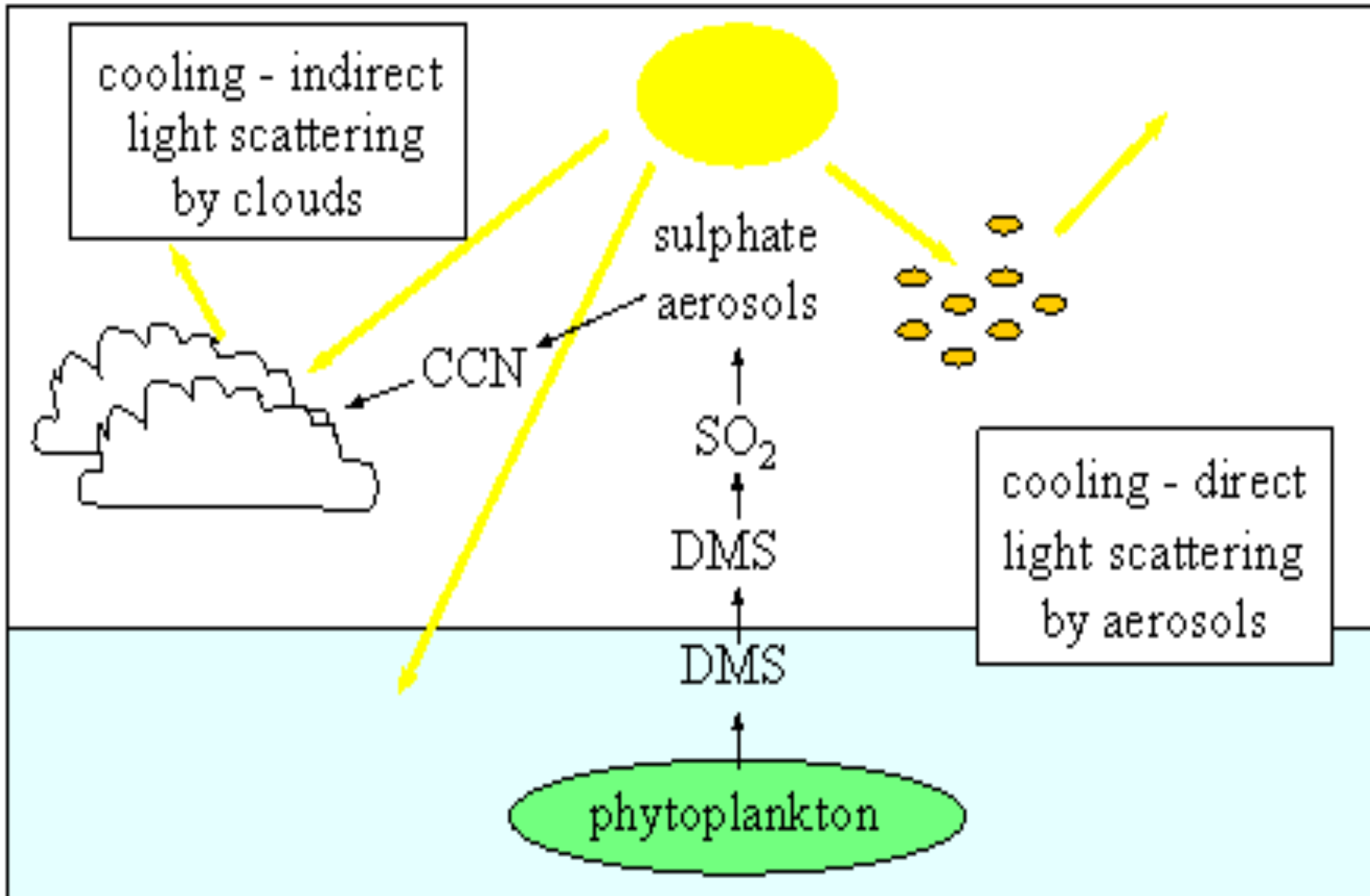
↑

Топливо 5000 Гт → → → →

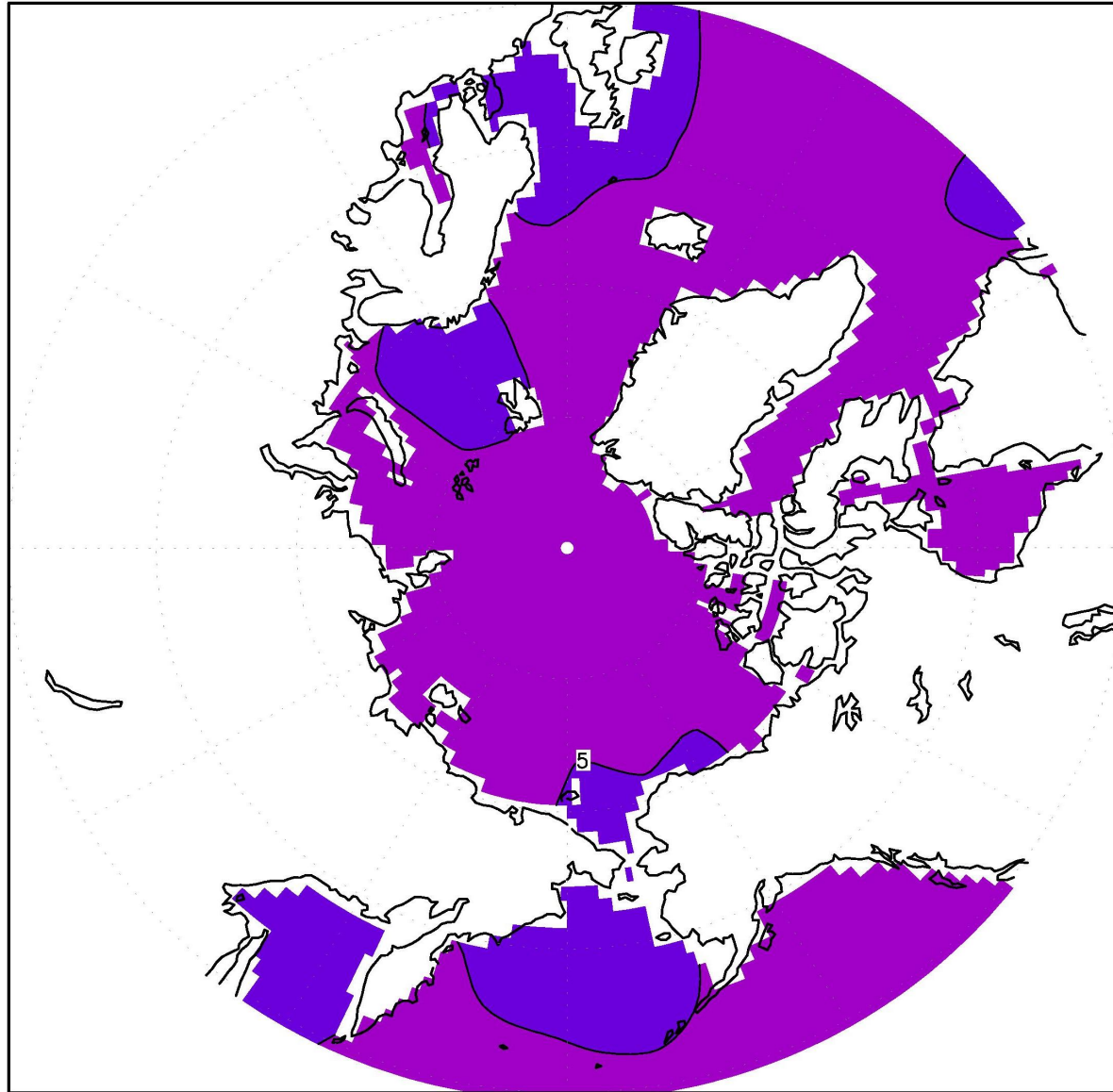
Концентрация растворенного углерода в океане (10^{-3} моль/м³) в зависимости от глубины



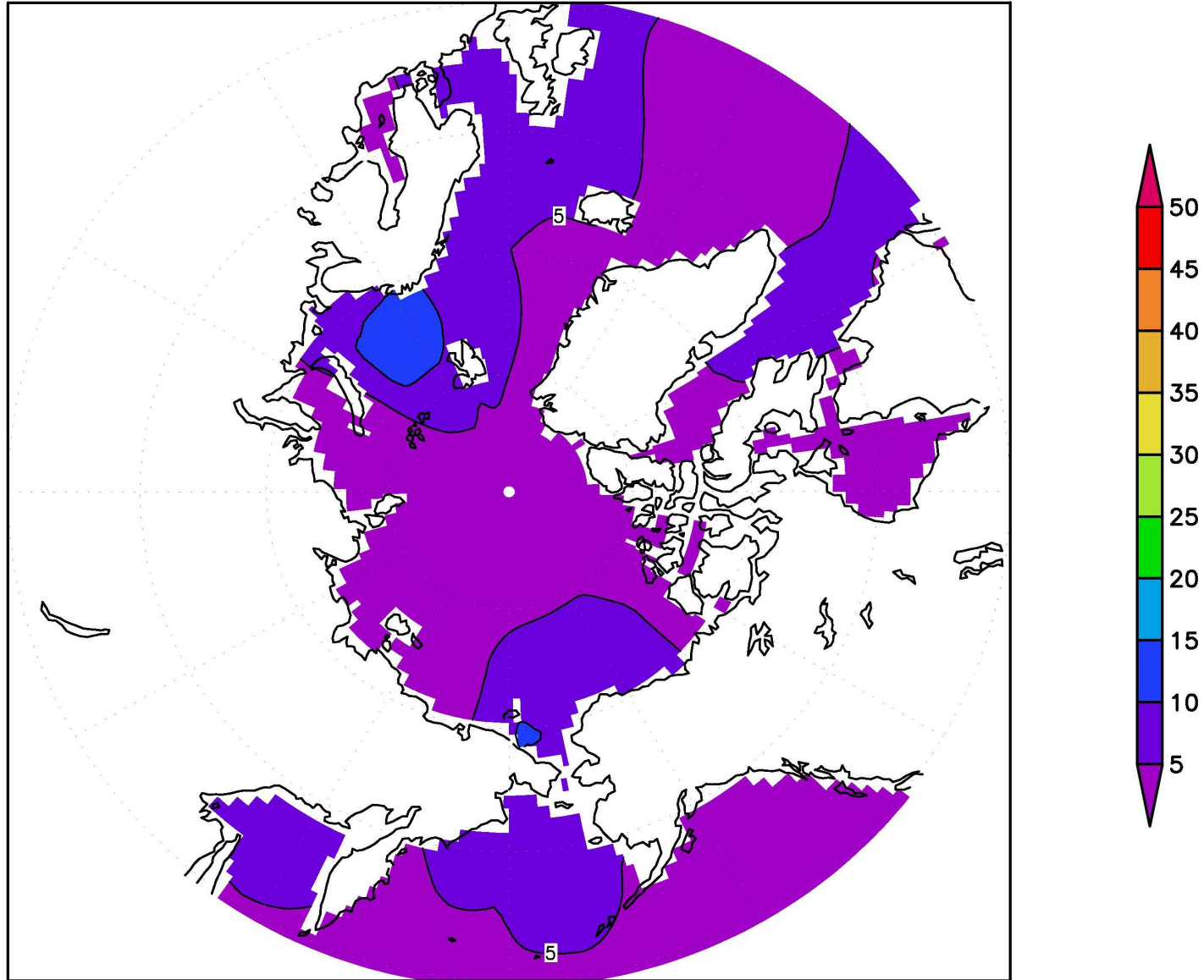
Фитопланктон влияет на образование облачности



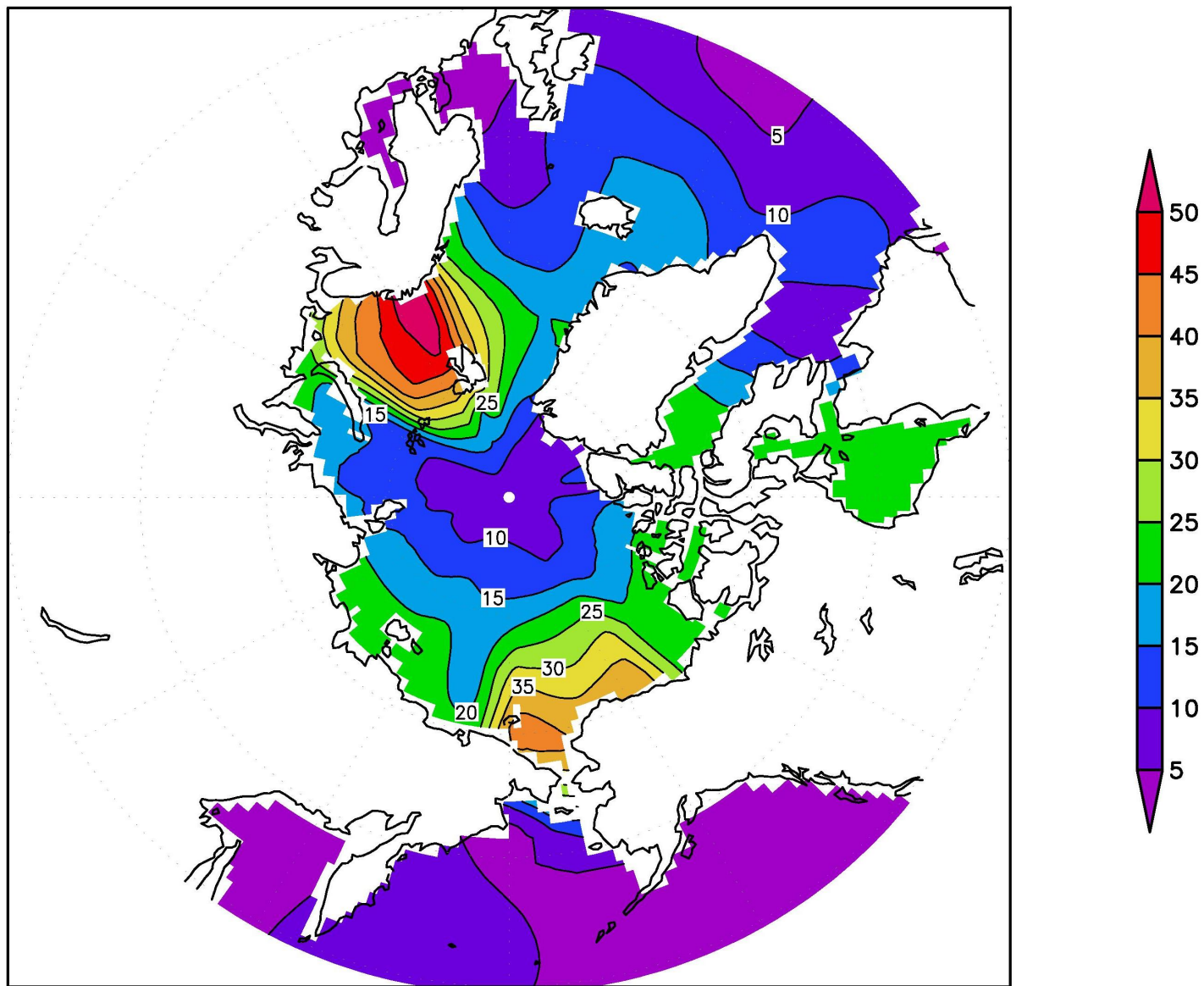
Концентрация ДМС (наномоль/л) в апреле



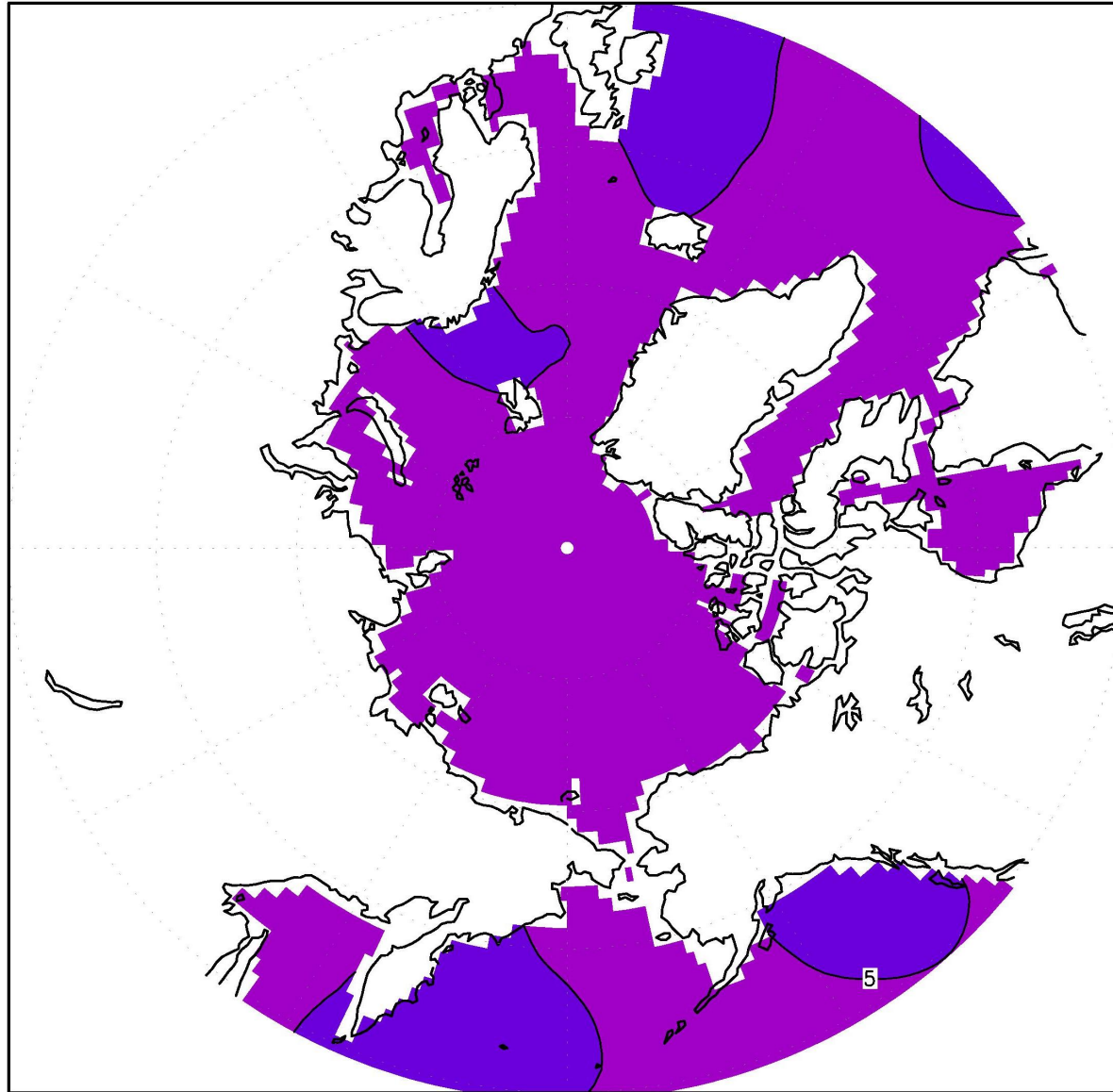
Концентрация ДМС (наномоль/л) в мае



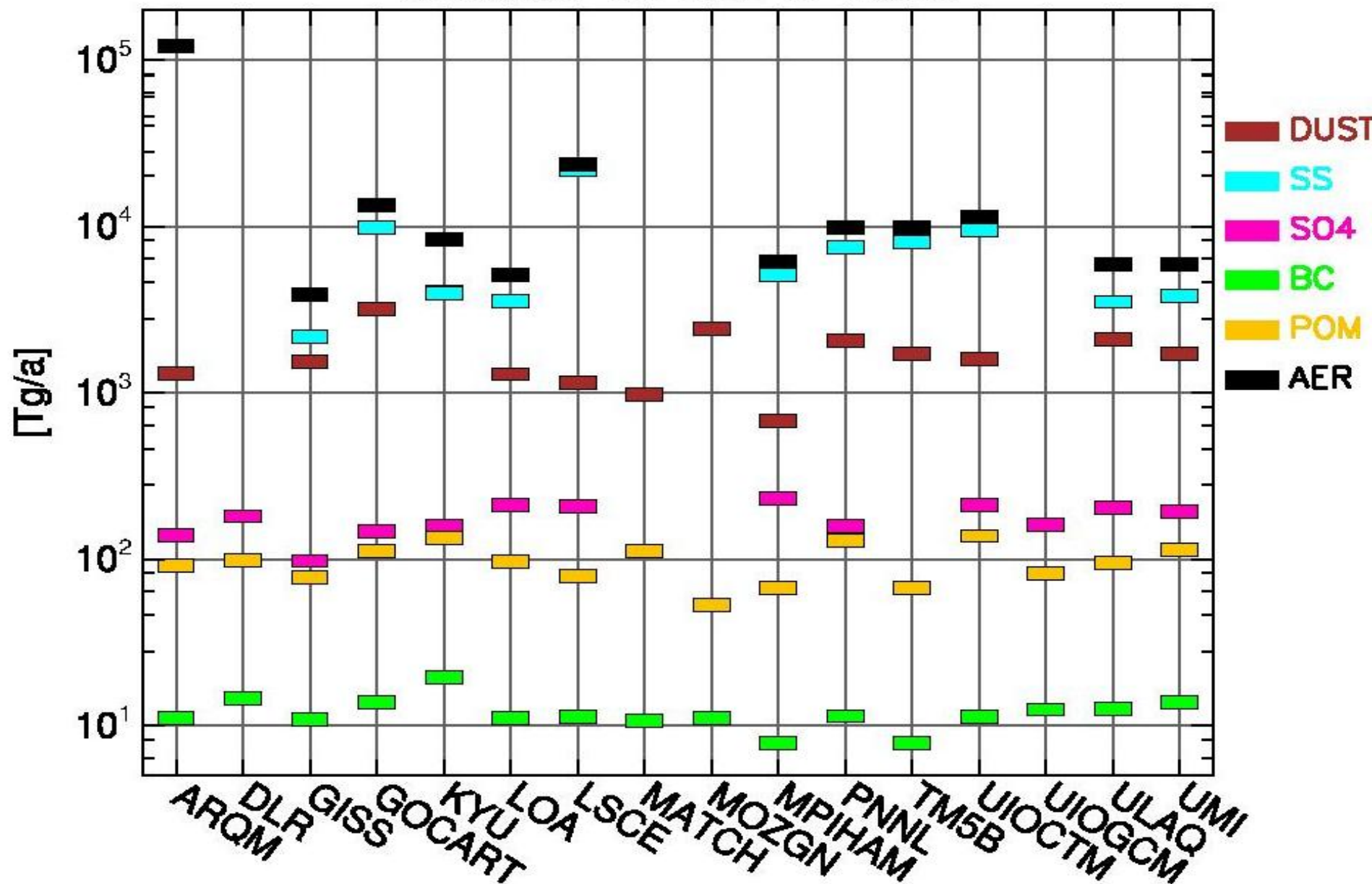
Концентрация ДМС (наномоль/л) в июне

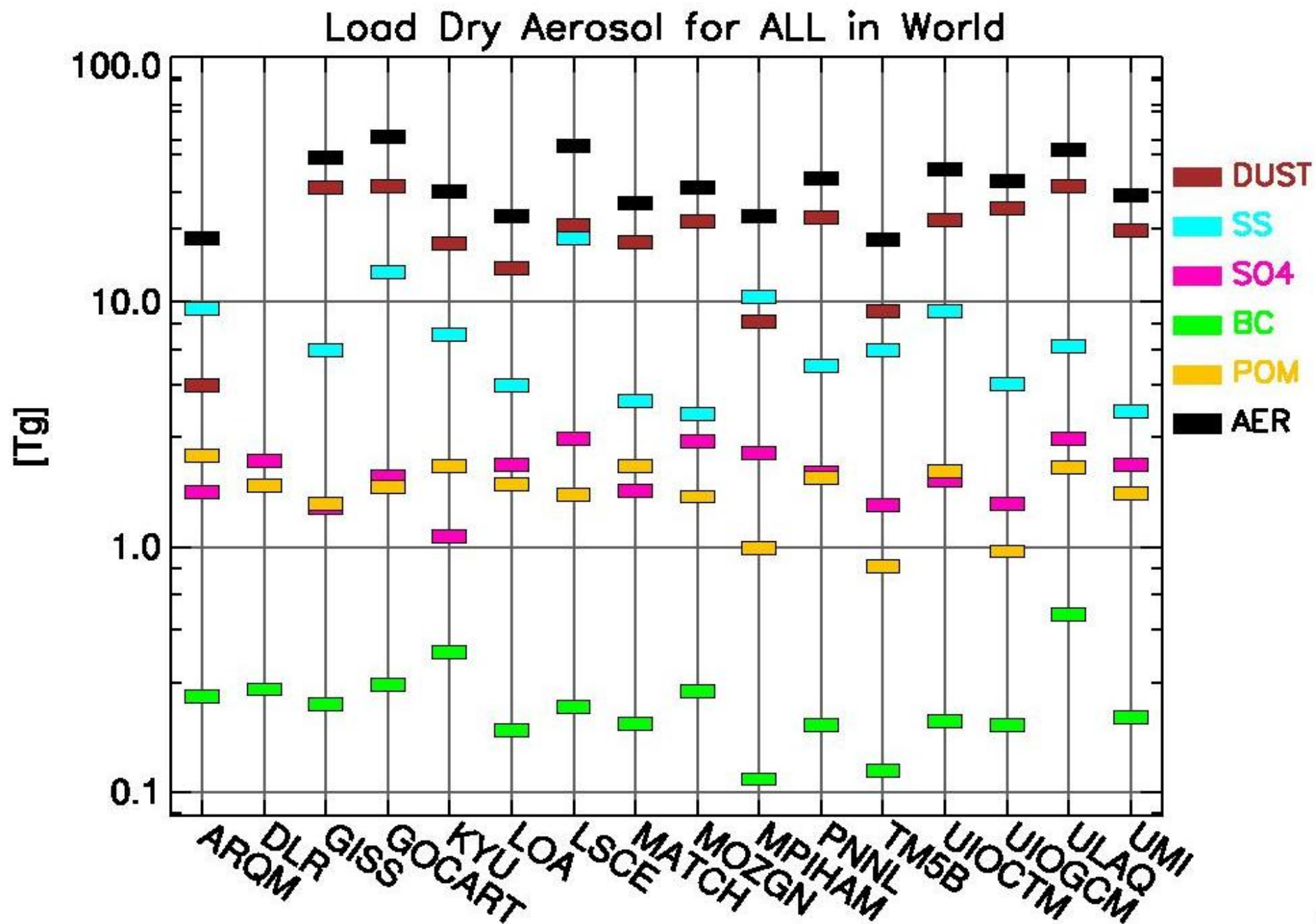


Концентрация ДМС (наномоль/л) в июле

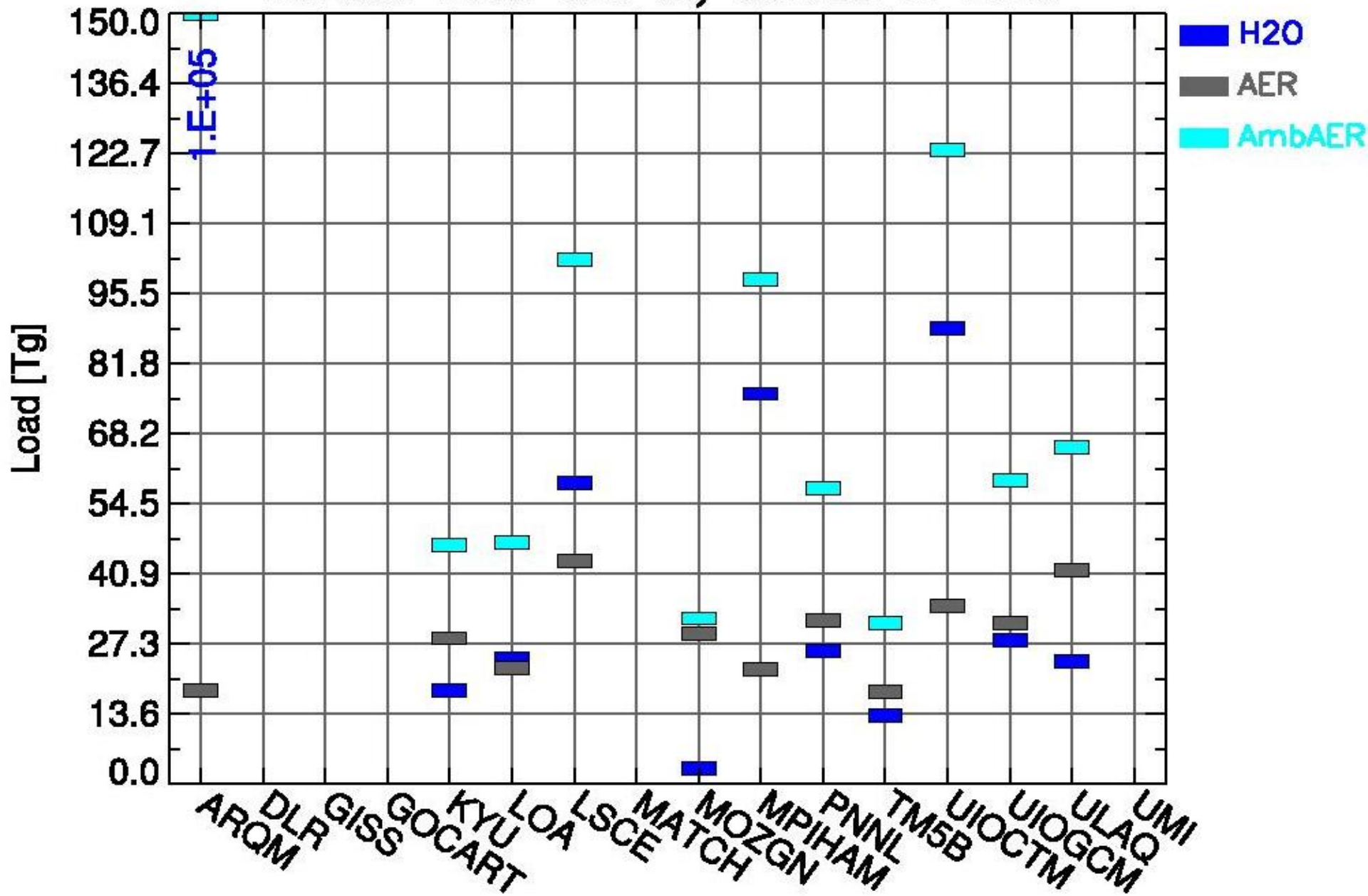


Emission for ALL in World





Aerosol water and dry aerosol in World



Геоинженерные воздействия для предотвращения или смягчения последствий глобального потепления.

1. Заброс серосодержащих веществ в стратосферу. Как и в случае вулканических извержений, приводит к образованию сульфатного аэрозоля.

Достоинства: относительная дешевизна (1-2 млн тонн серы – 1 градус), природные аналоги, последствия изучены относительно хорошо

Недостатки: контакт с ядовитыми веществами; разрушение озона; уменьшение осадков; скомпенсировать потепление удастся не везде; замутнение атмосферы.

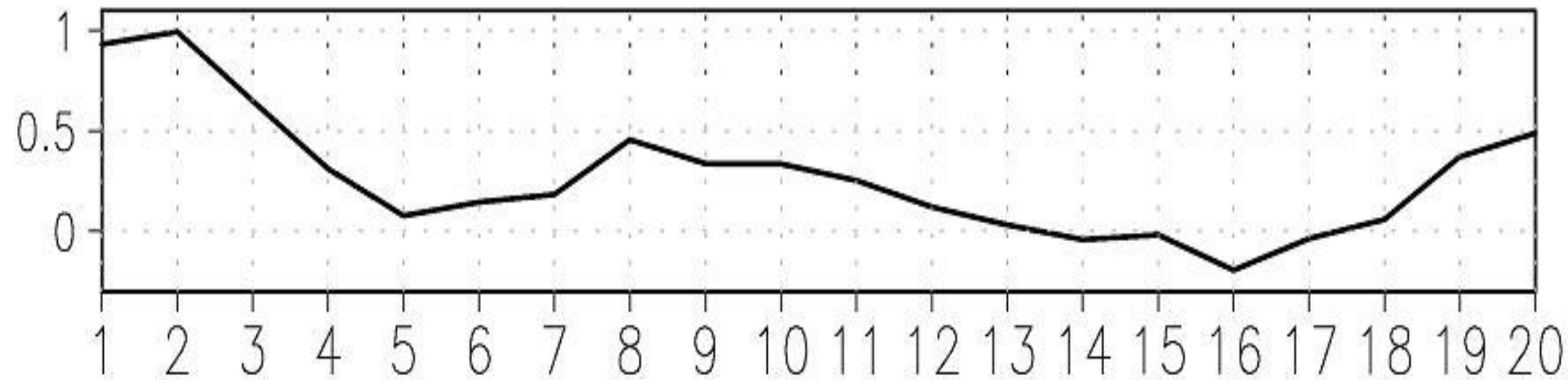


Рис. 4.1. Среднегодовое изменение глобально осредненной приземной температуры (К) при увеличенном в 4 раза содержании CO_2 и забросе 7 Мт/год серосодержащего аэрозоля.

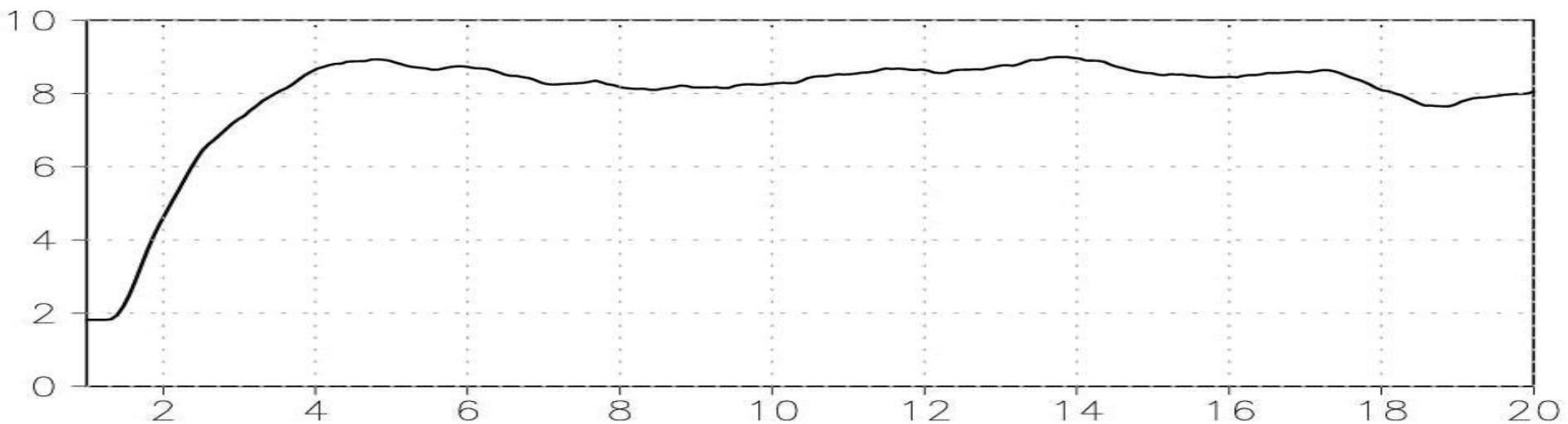


Рис. 4.9. Общее содержание серы в атмосфере (Мт) в ходе модельного эксперимента.

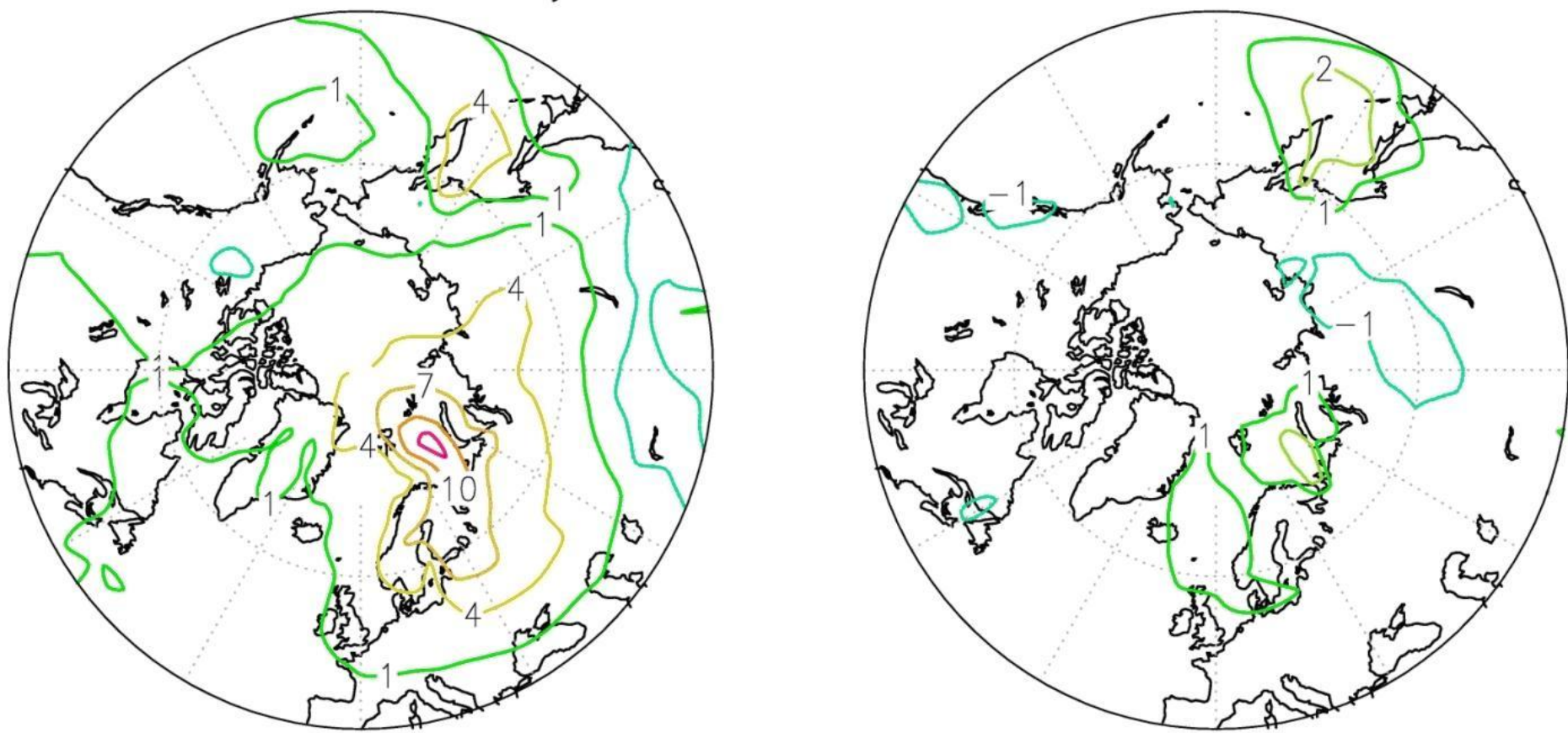


Рис. 4.3. Изменение приземной температуры (К) в Северном полушарии в летний (а) и зимний (б) сезоны при осреднении с 10-й по 20-й год моделирования

2. Распыление морской воды для образования аэрозоля морской соли.