

Математические модели
климатической системы Земли:
современное состояние и
перспективы развития.

Володин Е.М.,

Грицун А.С., Воробьева В.В., Тарасевич М.А.

Институт вычислительной математики им. Г.И.

Марчука РАН

volodinev@gmail.com

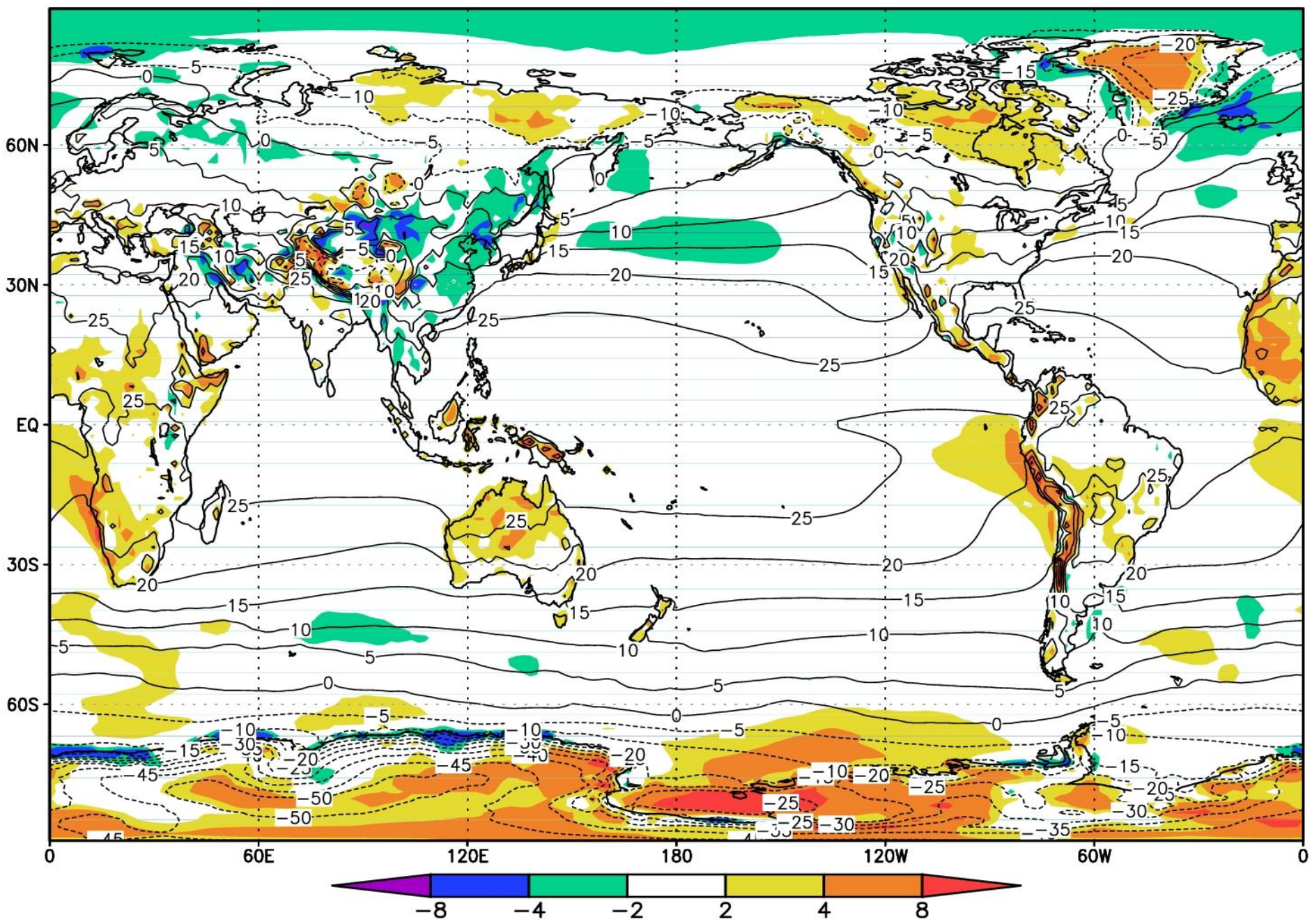
Модель климатической системы:

1. Модель общей циркуляции атмосферы, включая поверхность суши, почву, растительность.
2. Модель общей циркуляции океана, включая морской лед.
3. Модель эволюции углерода в атмосфере, наземных экосистемах, почве, океане
4. Модель эволюции аэрозолей
5. Блок химии атмосферы
6. Модель ледниковых щитов
7. Расчет электрических явлений

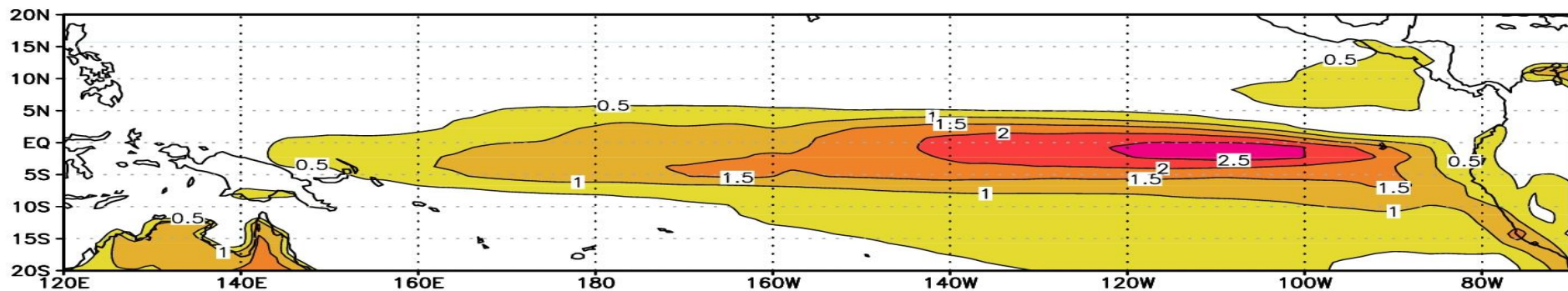
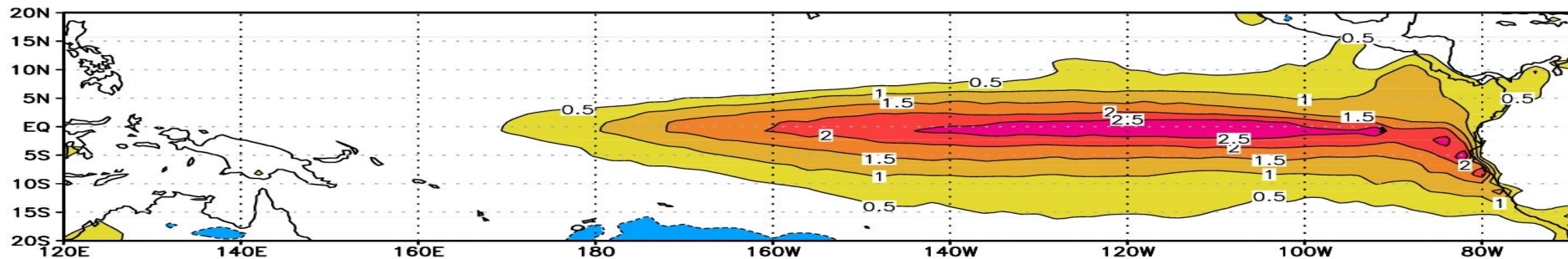
Модели климатической системы используются для:

1. Прогноза погоды на несколько дней. Решение зависит в основном от начального состояния.
2. Прогноз аномалий погоды и климата на срок от сезона до нескольких лет. Решение зависит как от начального состояния, так и от изменения воздействий на климатическую систему.
3. Моделирование изменений климата на временных масштабах десятков лет и более. Решение зависит в основном от изменения воздействий.

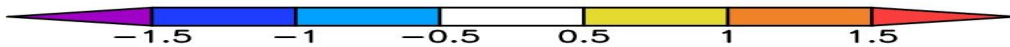
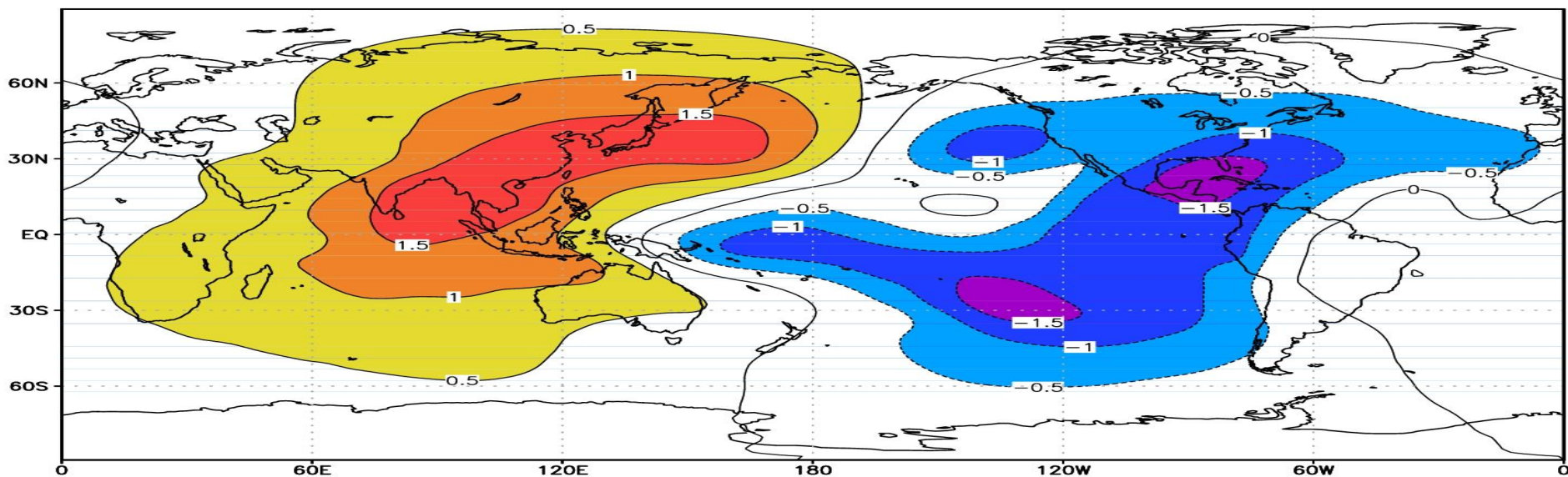
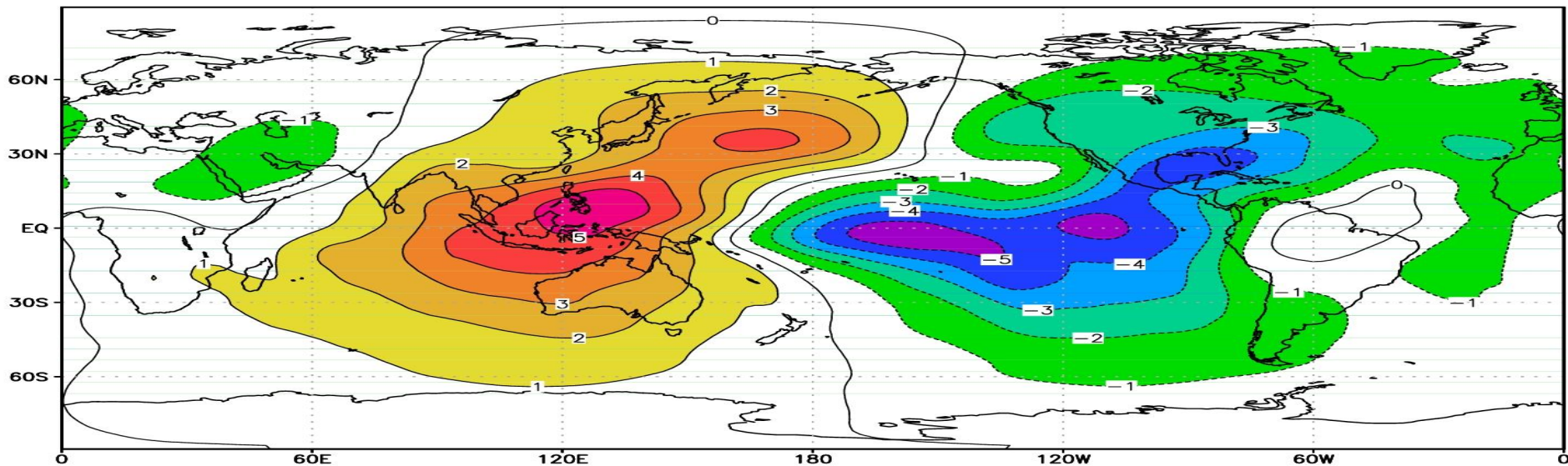
Среднегодовая температура воздуха у поверхности в 1980-2014г и ошибка модели



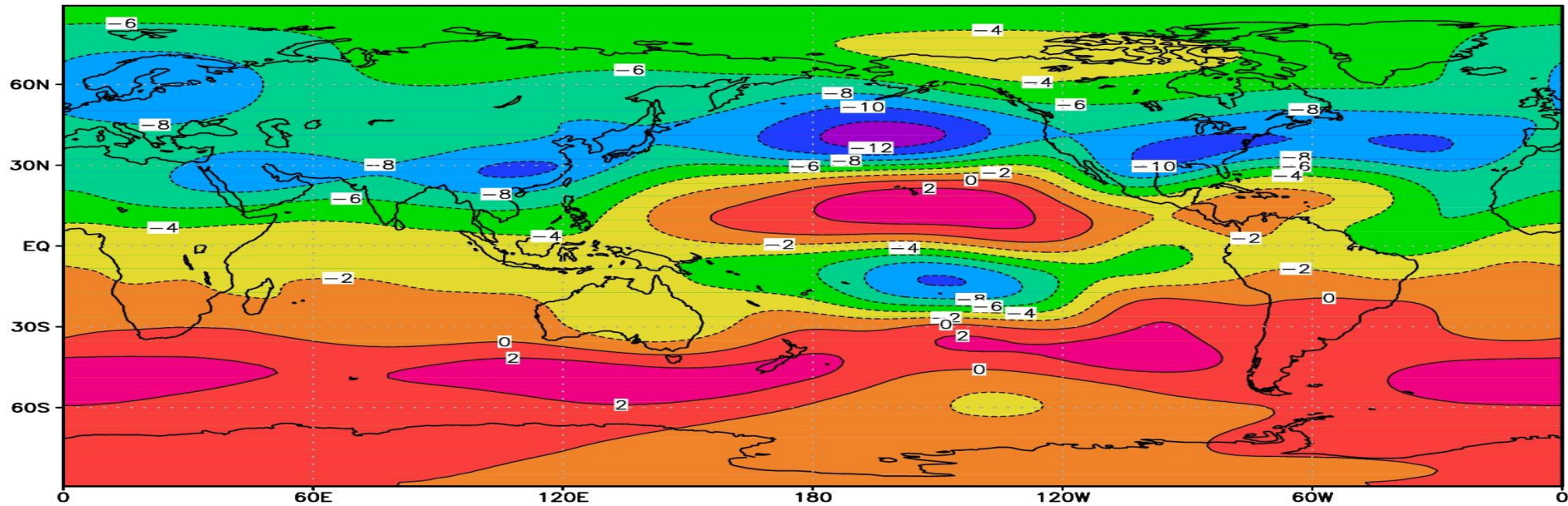
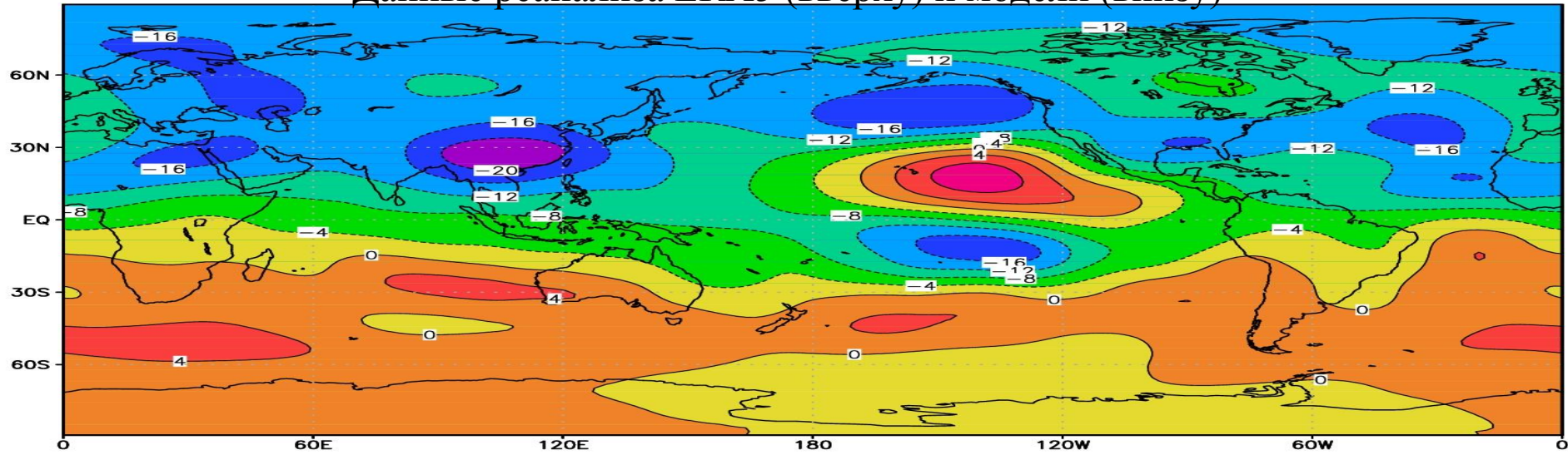
Аномалия температуры поверхности в тропиках Тихого океана в декабре во время Эль-Ниньо по данным ERA5 (вверху) и модели (внизу).



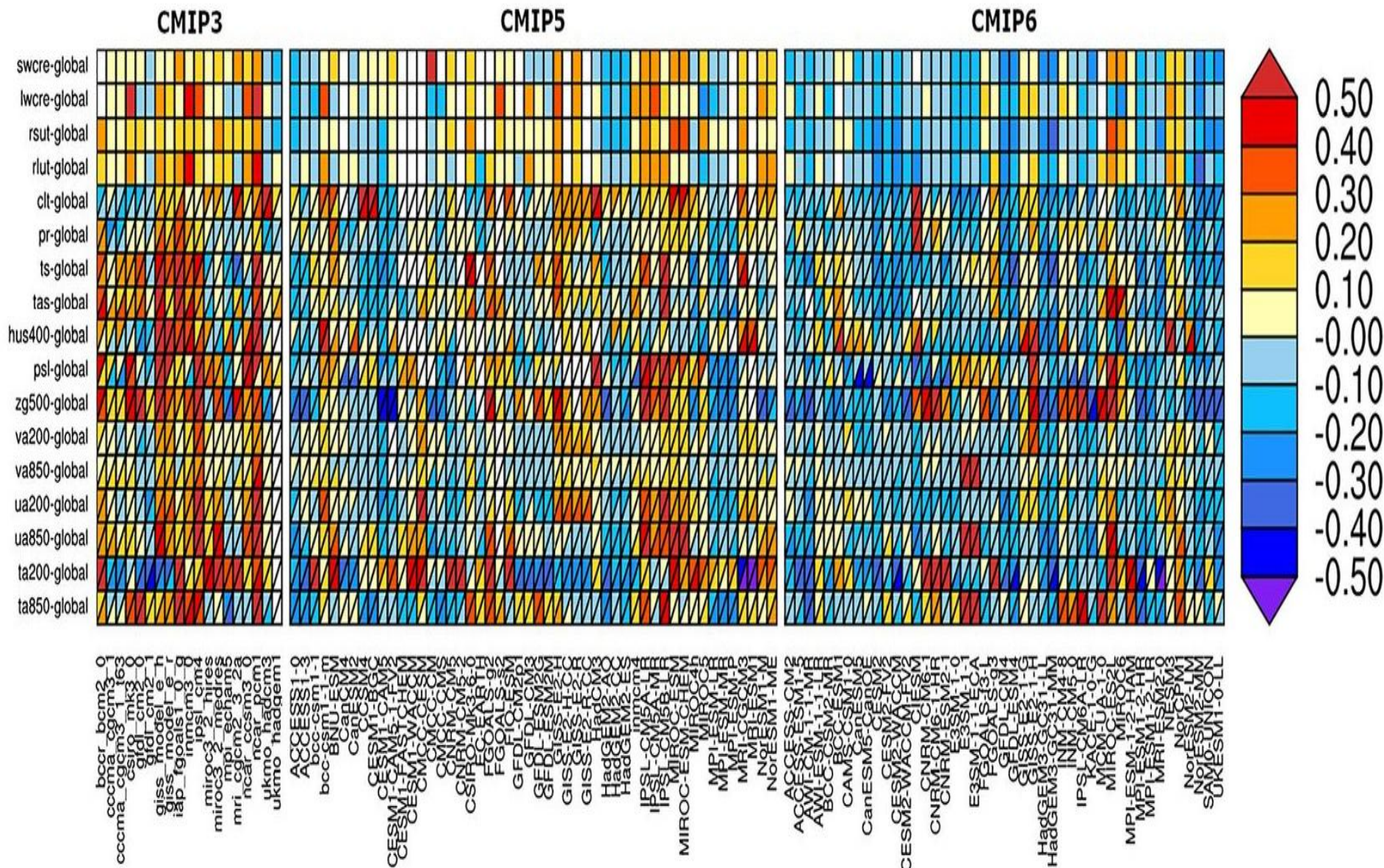
Аномалия потенциала скорости 200 гПа усредненная по всем эпизодам Эль-Ниньо.
Данные реанализа ERA5 (вверху) и модели (внизу)

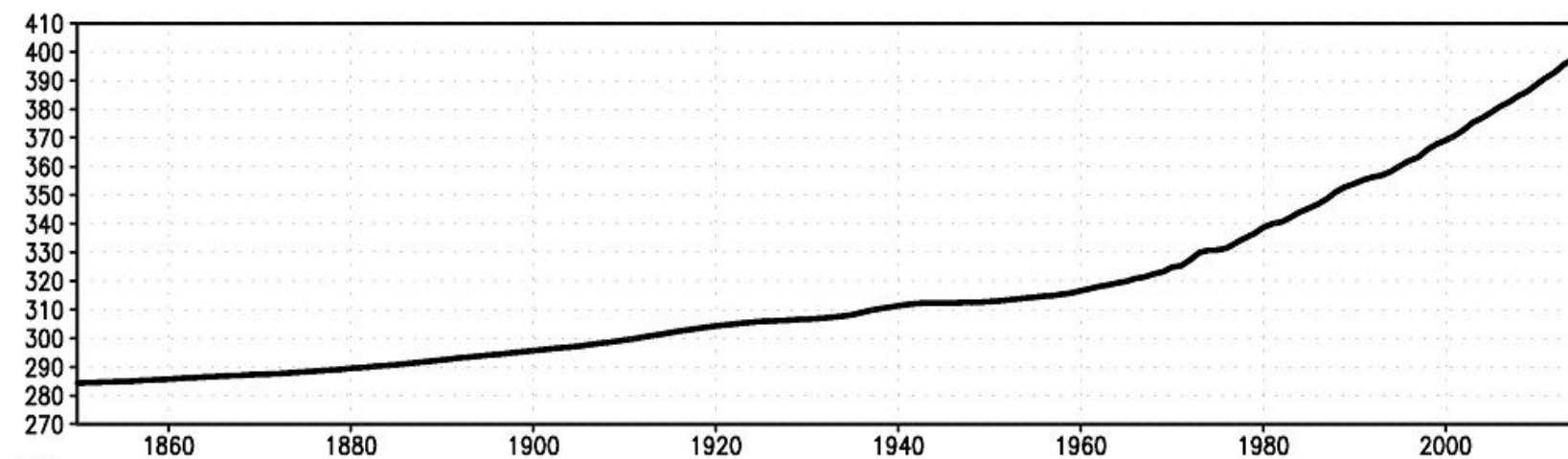


Аномалия функции тока скорости 200 гПа усредненная по всем эпизодам Эль-Ниньо.
Данные реанализа ERA5 (вверху) и модели (внизу)

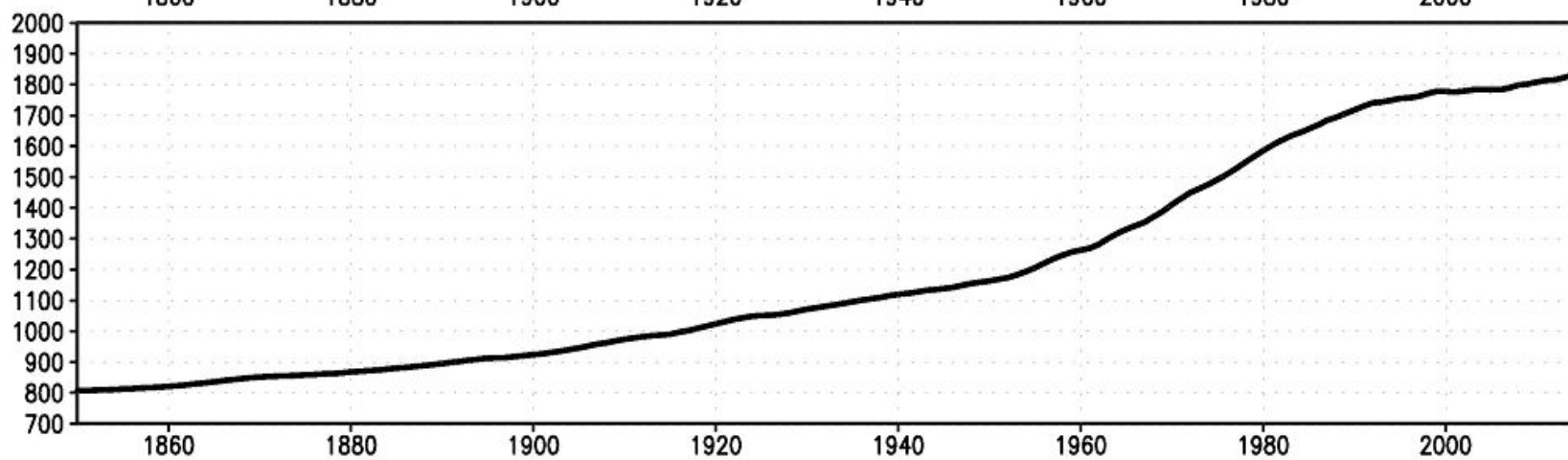


Simulation of present day climate with climate models of CMIP3 (2003), CMIP5 (2010), CMIP6 (2018) <https://doi.org/10.1029/2019JD032321>

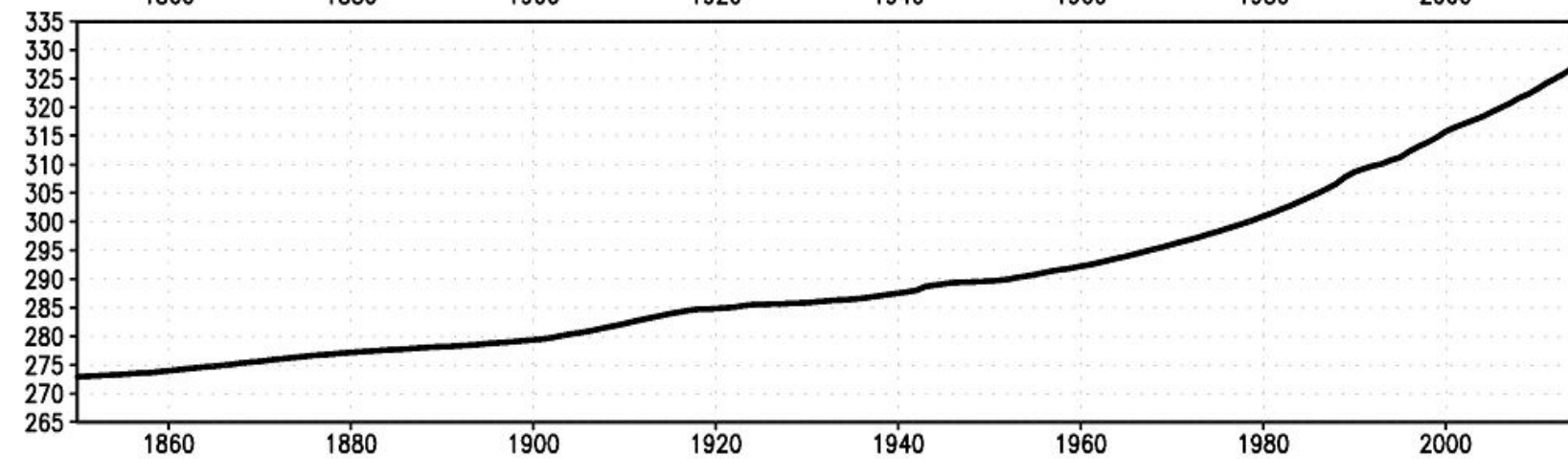




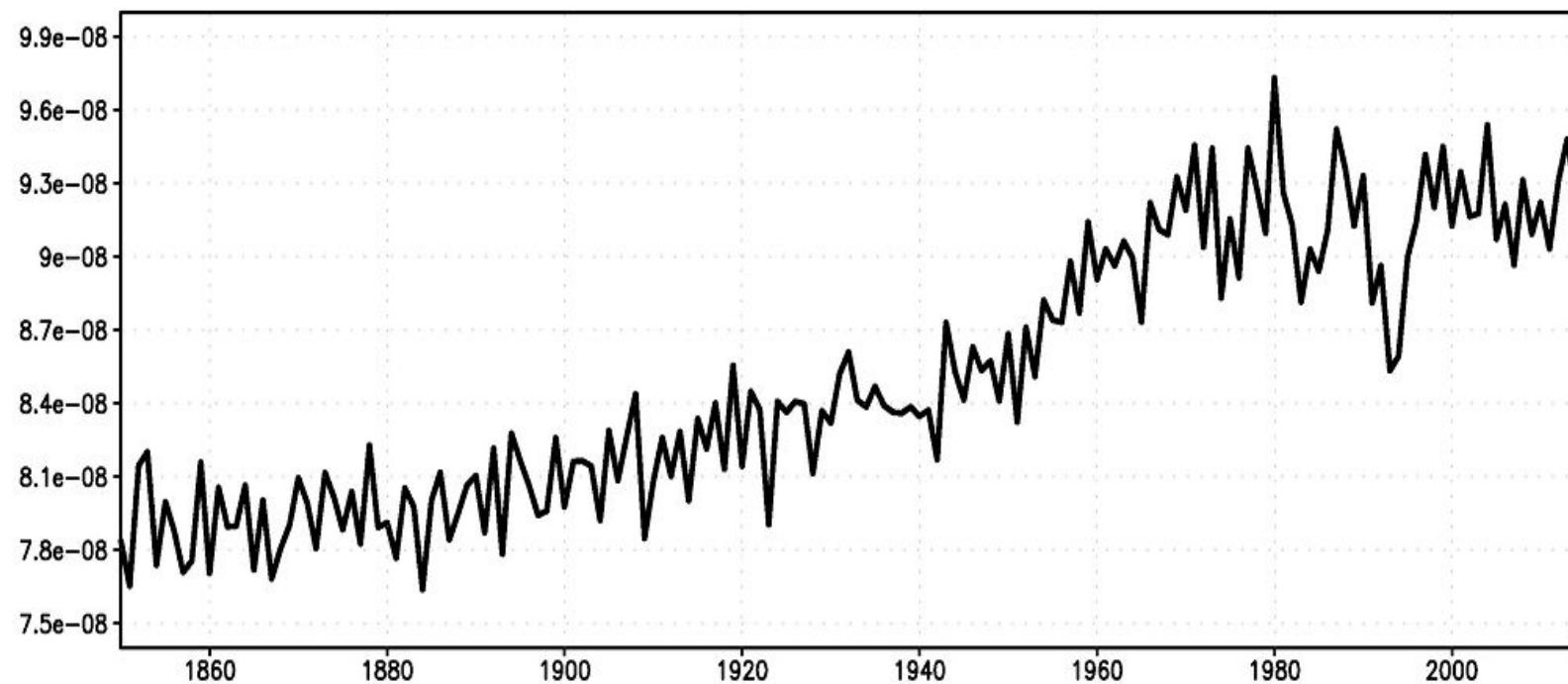
CO₂



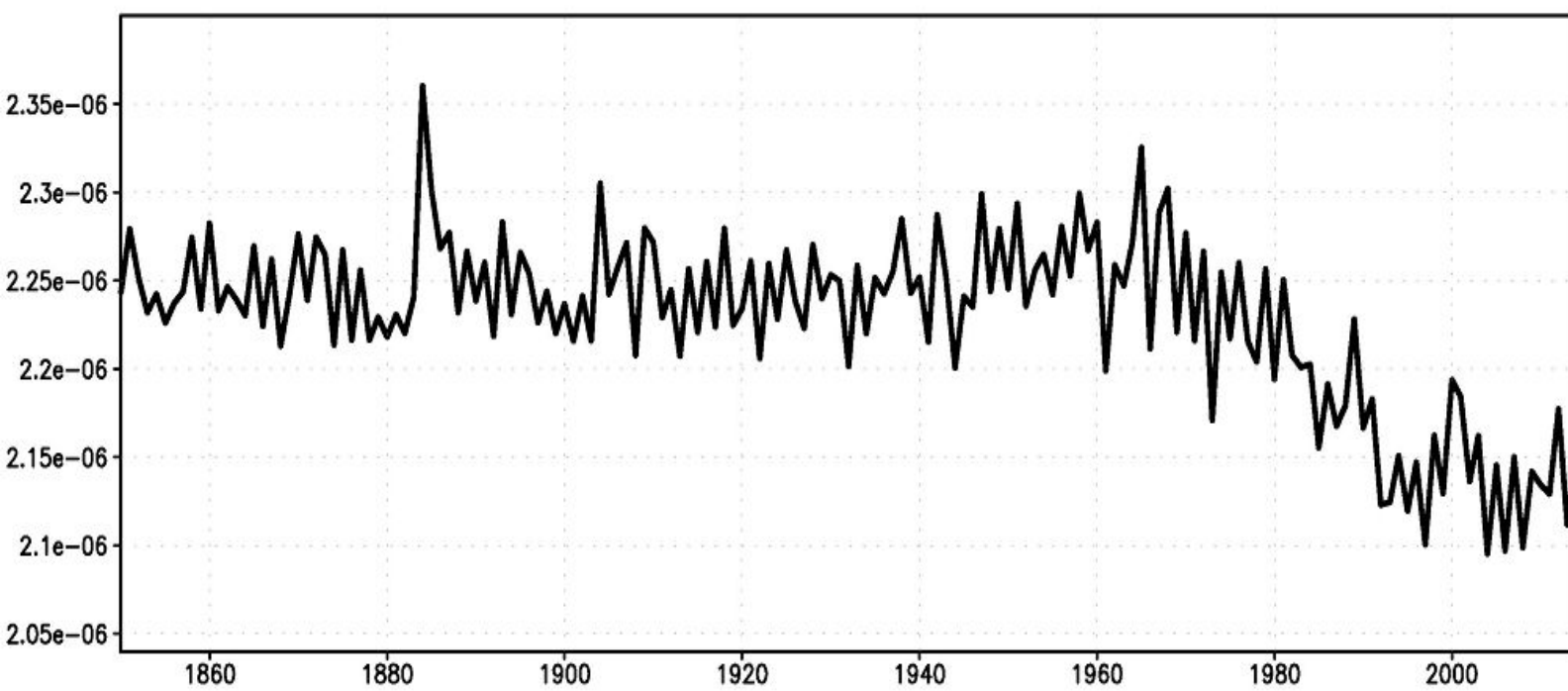
CH₄



N₂O

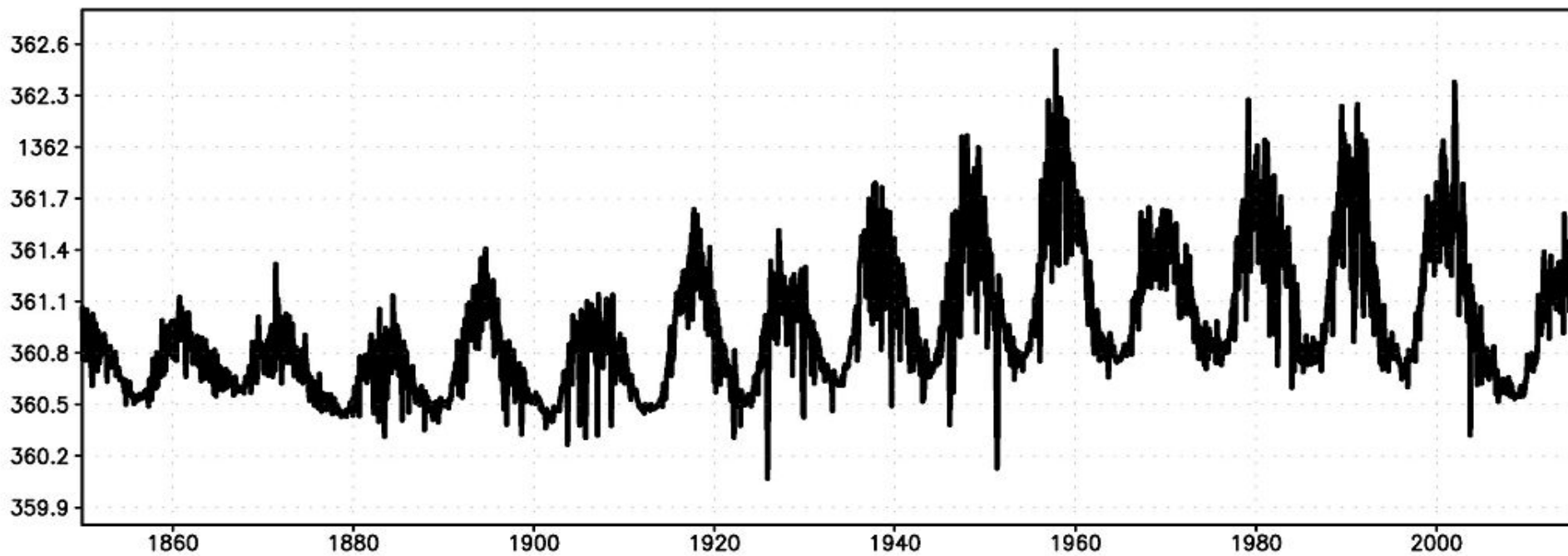
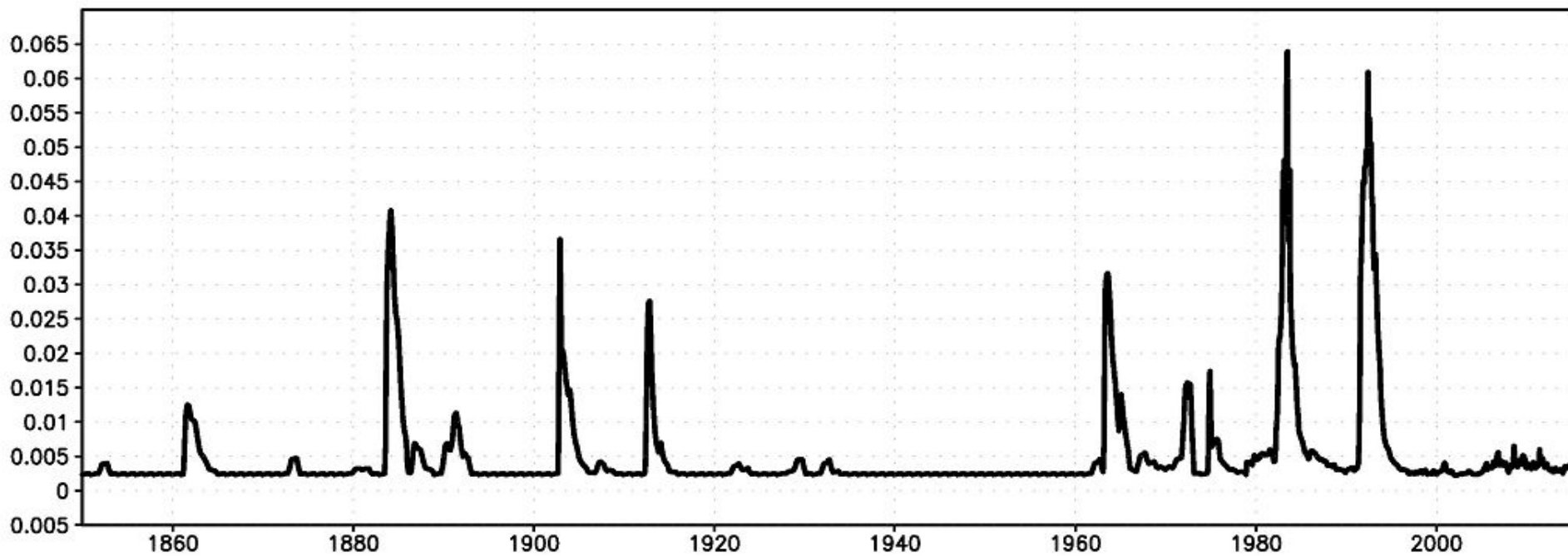


O₃
250 гПа

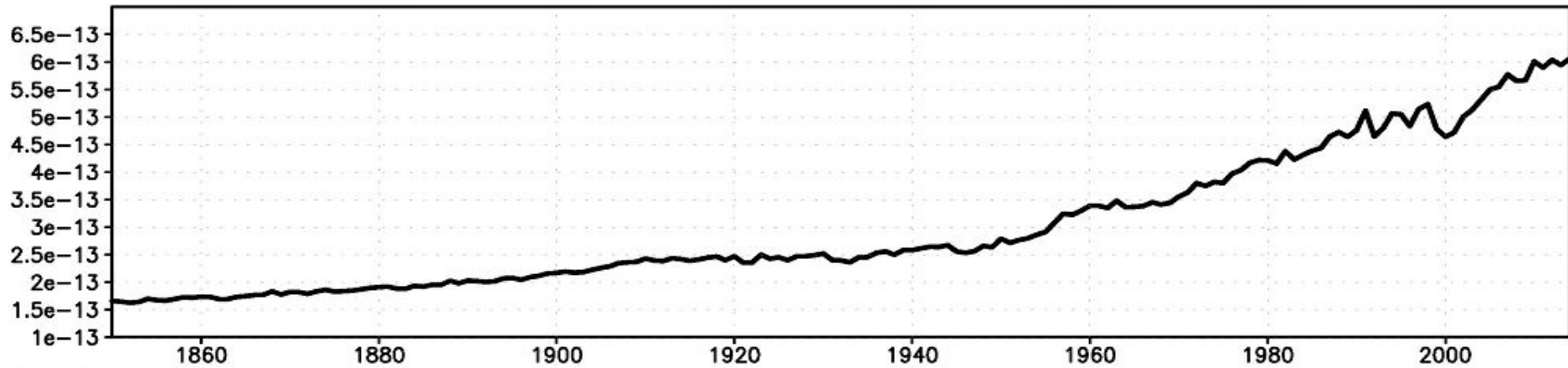
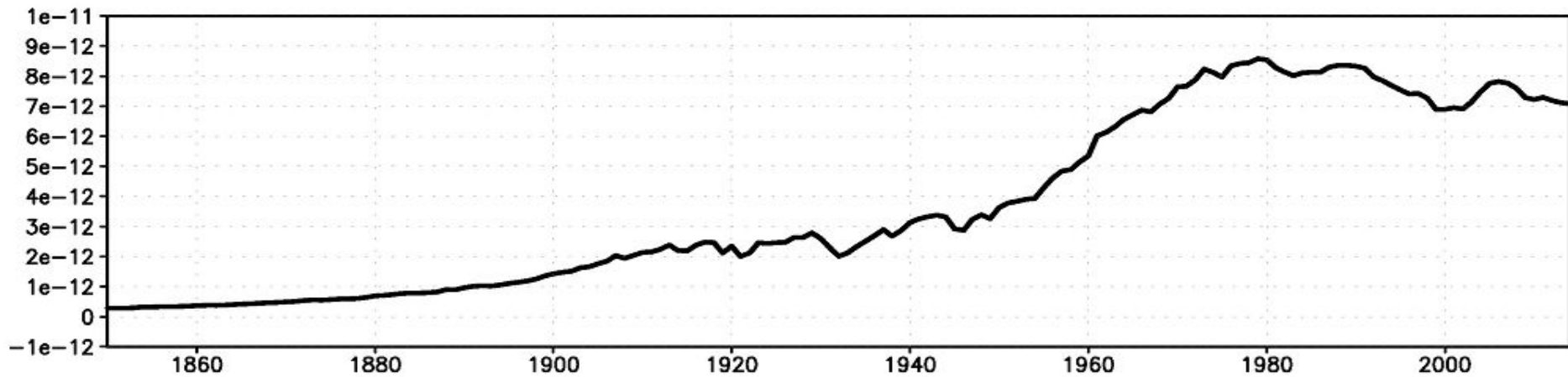


O₃
50 гПа

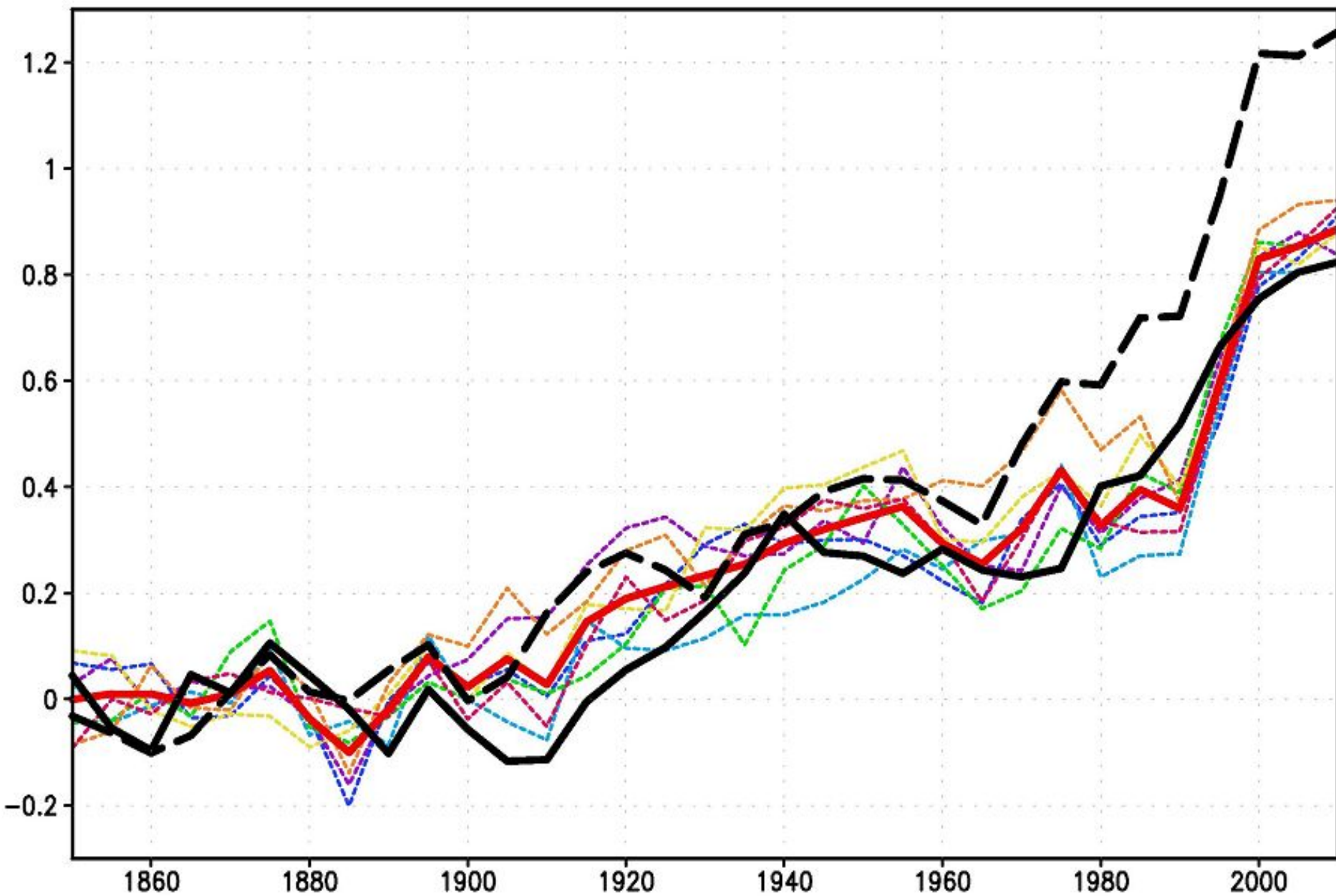
Стратосферный вулканический аэрозоль и солнечная постоянная



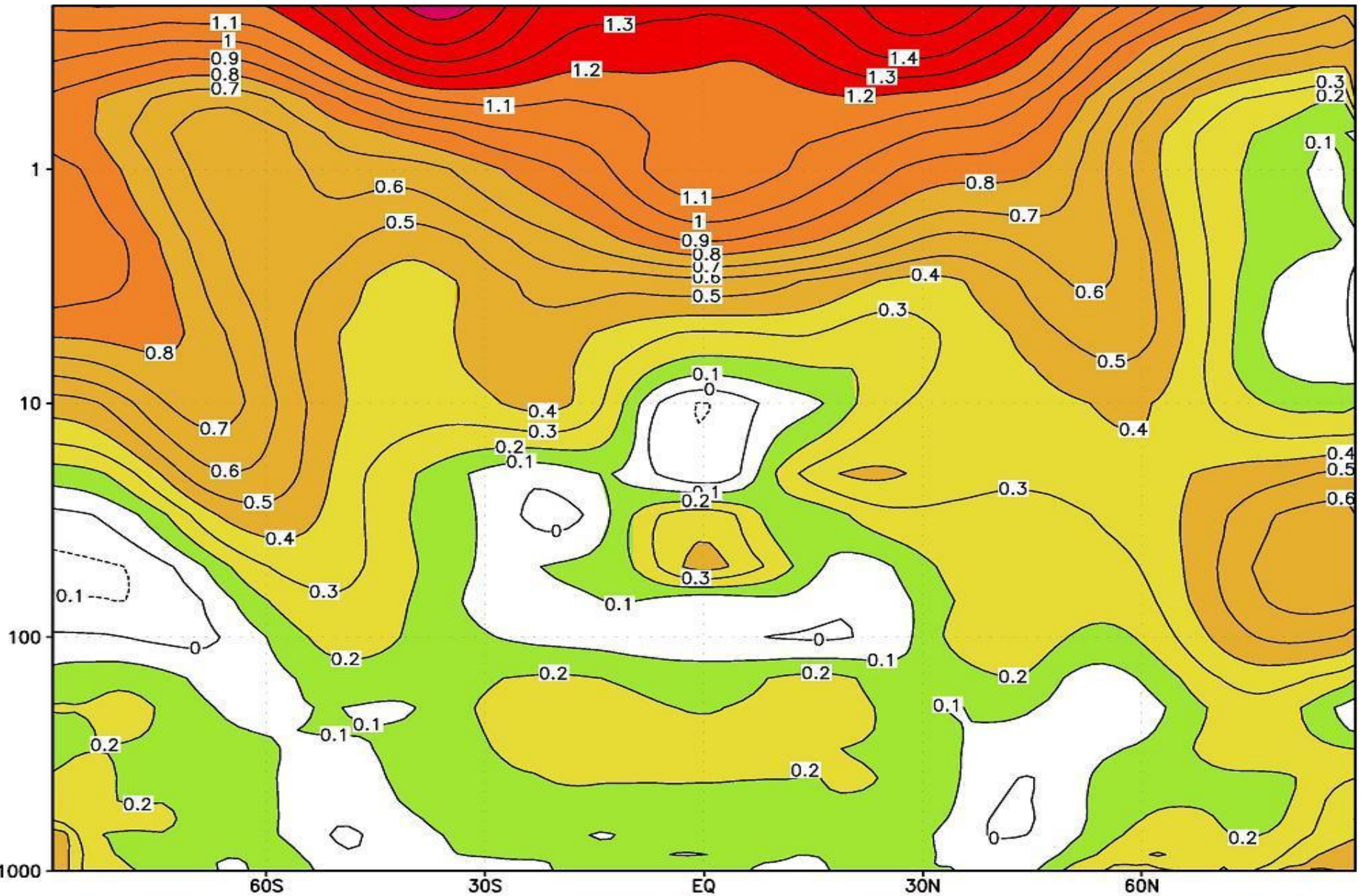
Эмиссии SO₂, сажи, органических аэрозолей



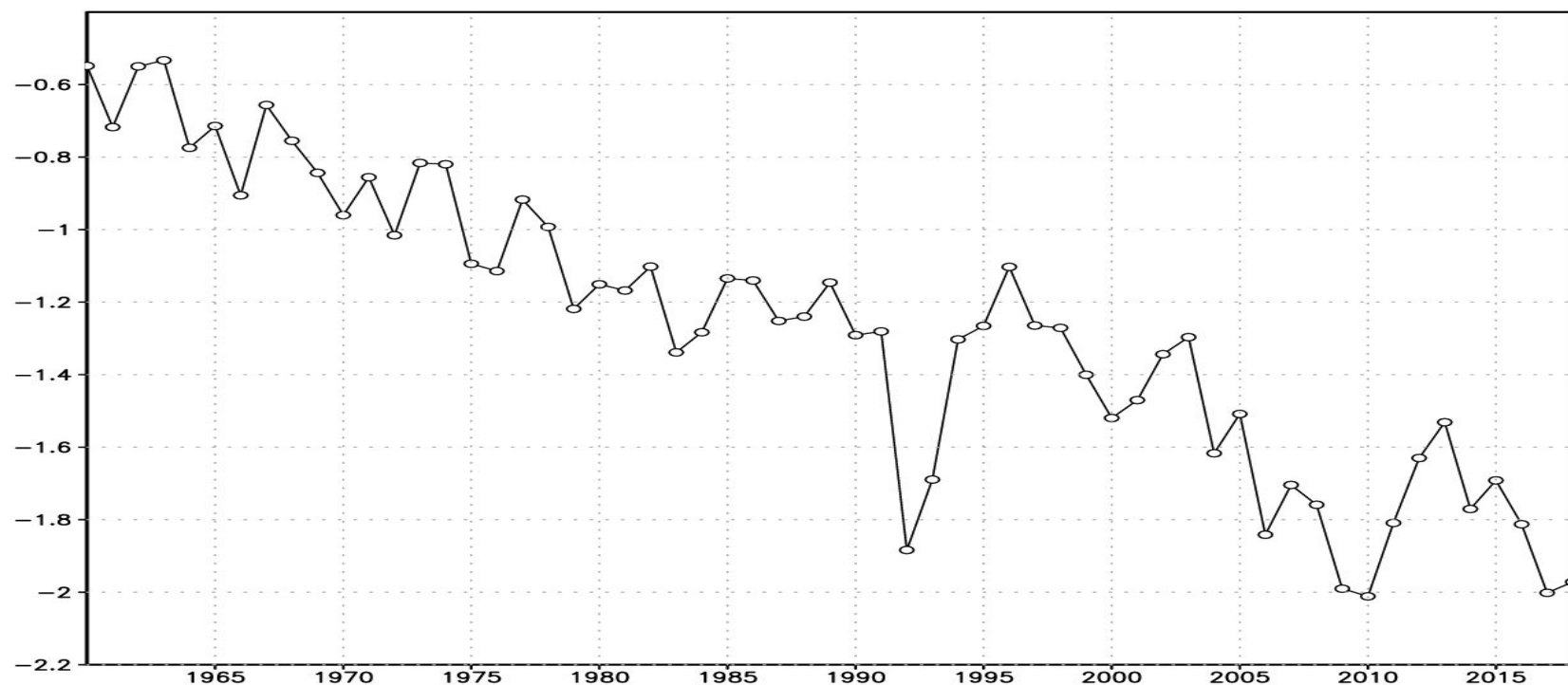
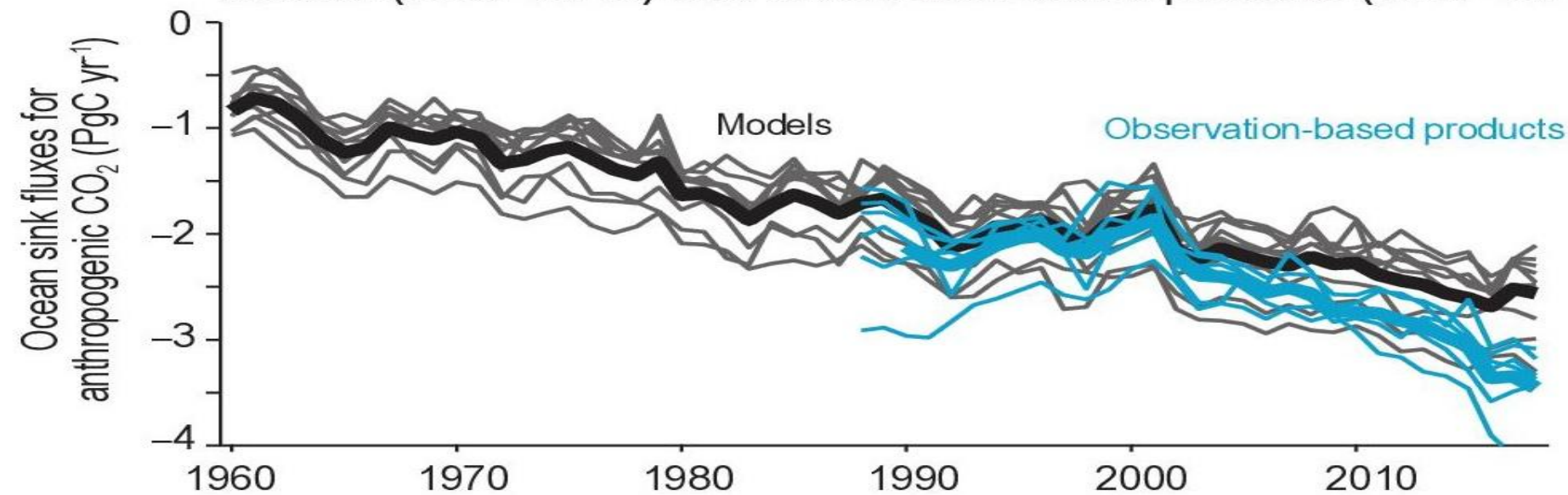
Воспроизведение современных изменений климата



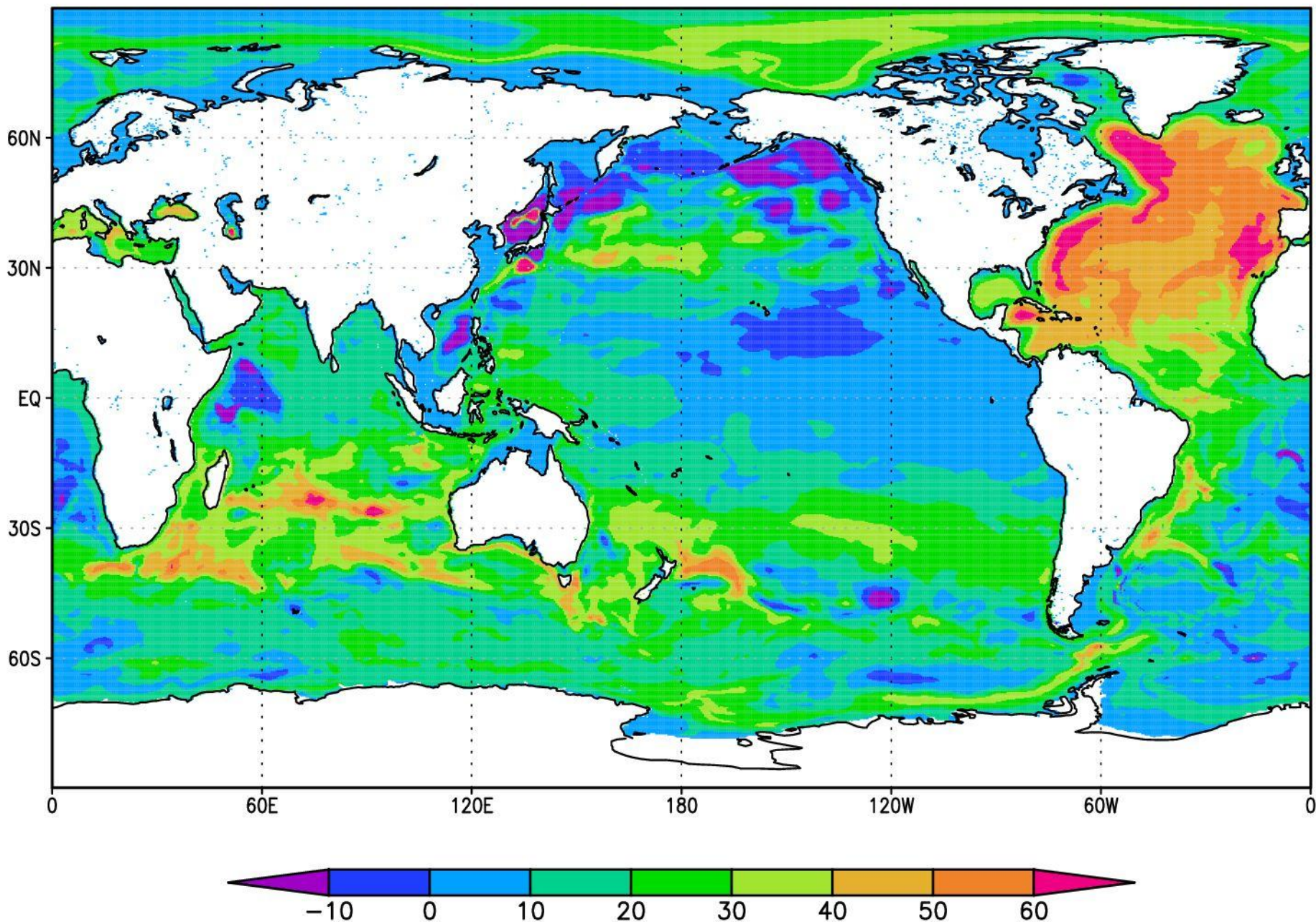
Разность температуры воздуха во время фаз высокой и низкой активности 11-летнего цикла солнца



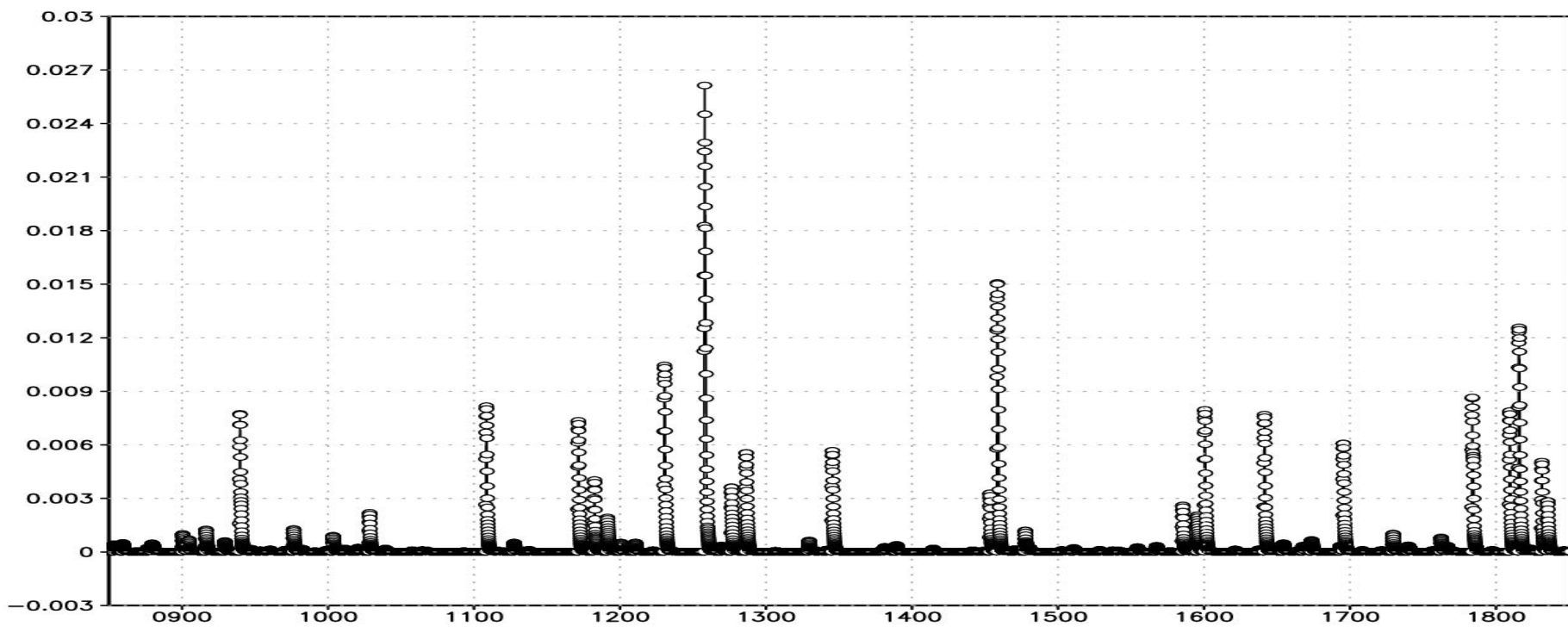
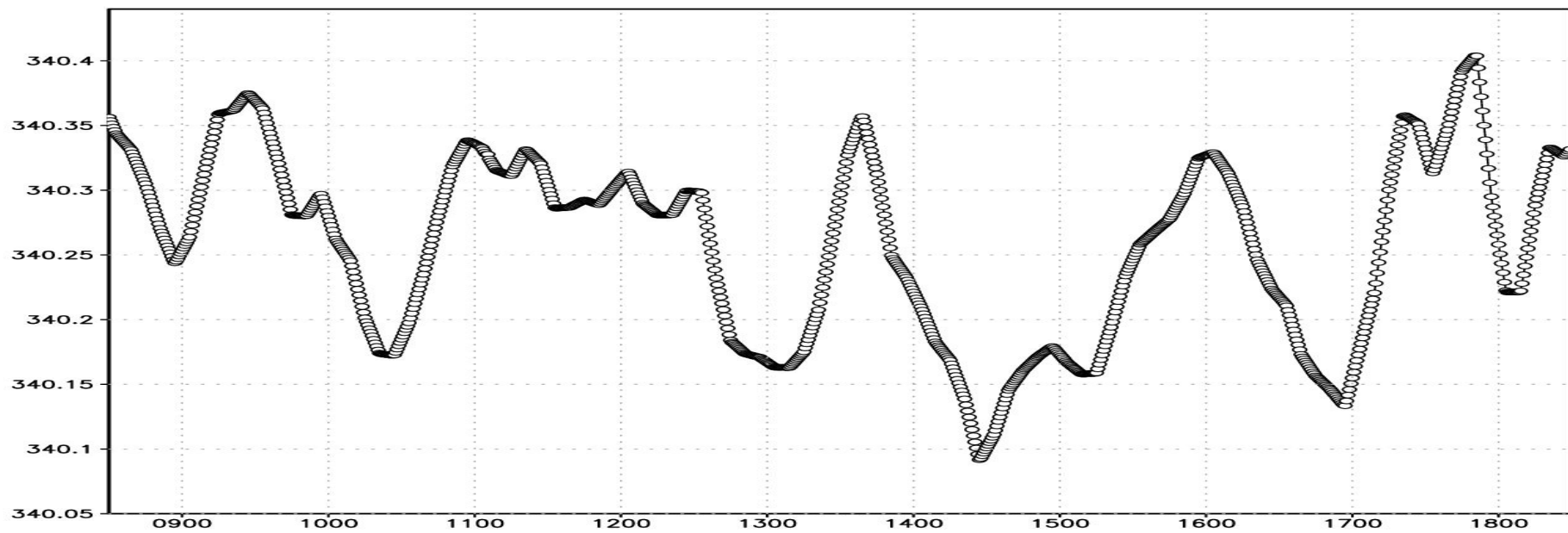
(a) Comparative trends in the ocean sink for anthropogenic CO₂ models (1960–2018) and observation-based products (1987–2018)



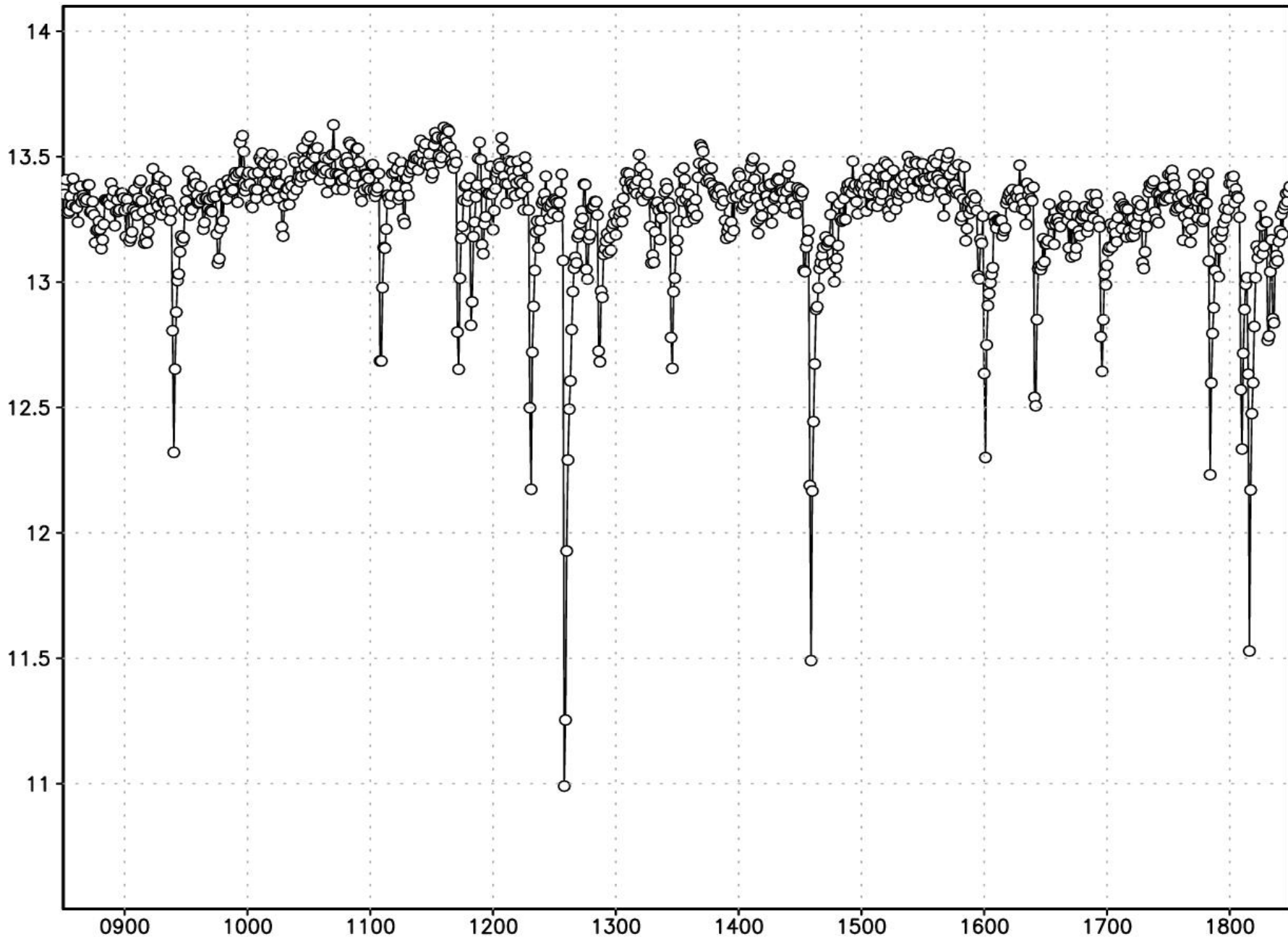
Антропогенный углерод в модели INM-CM5-0 (0.5x0.25xL40) в 1991-2000г.



Солнечная радиация и оптической толщине вулканического аэрозоля в 850-1850г

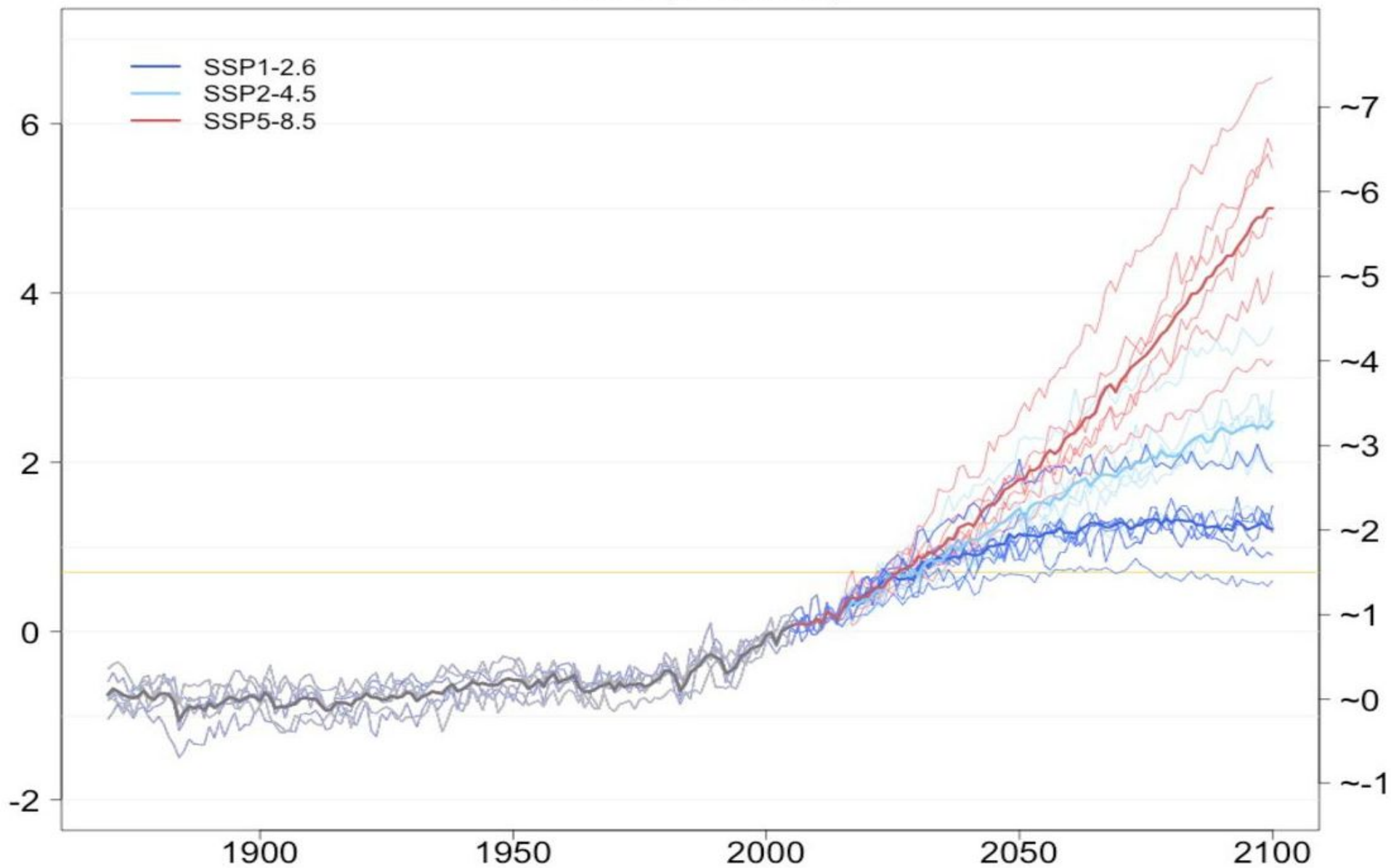


Глобально осредненная приземная температура в модели климата в 850-1850г

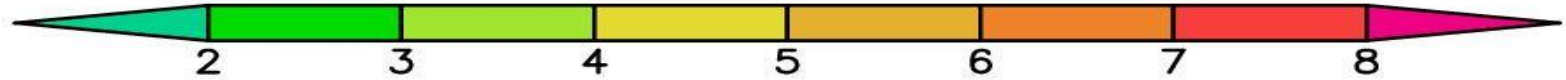
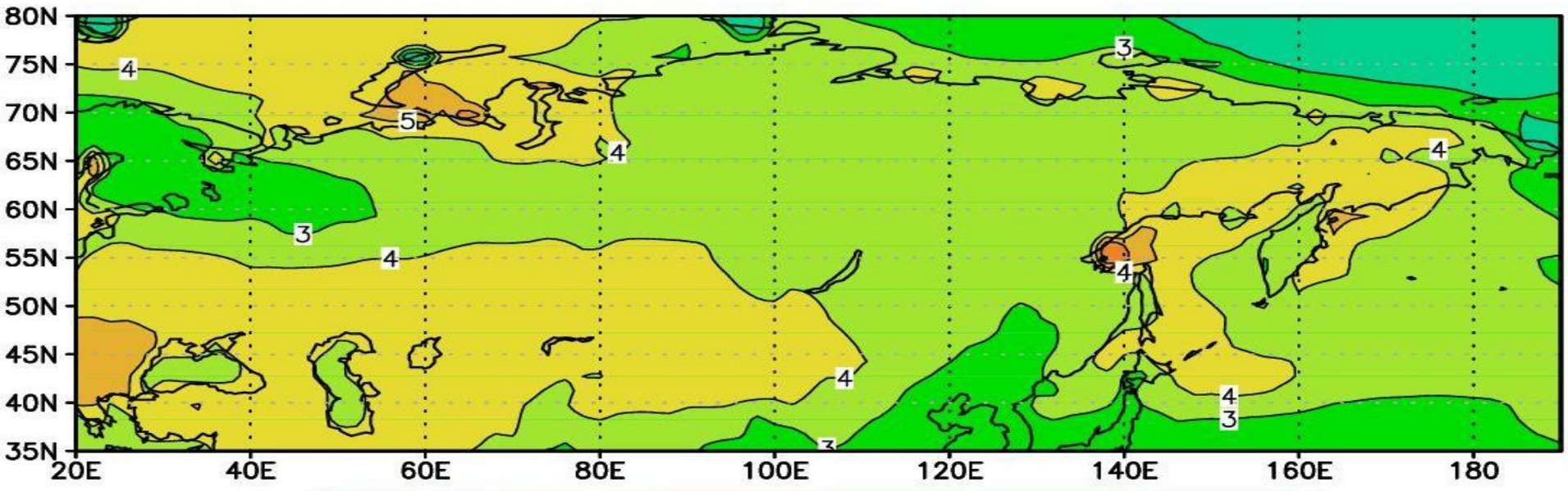
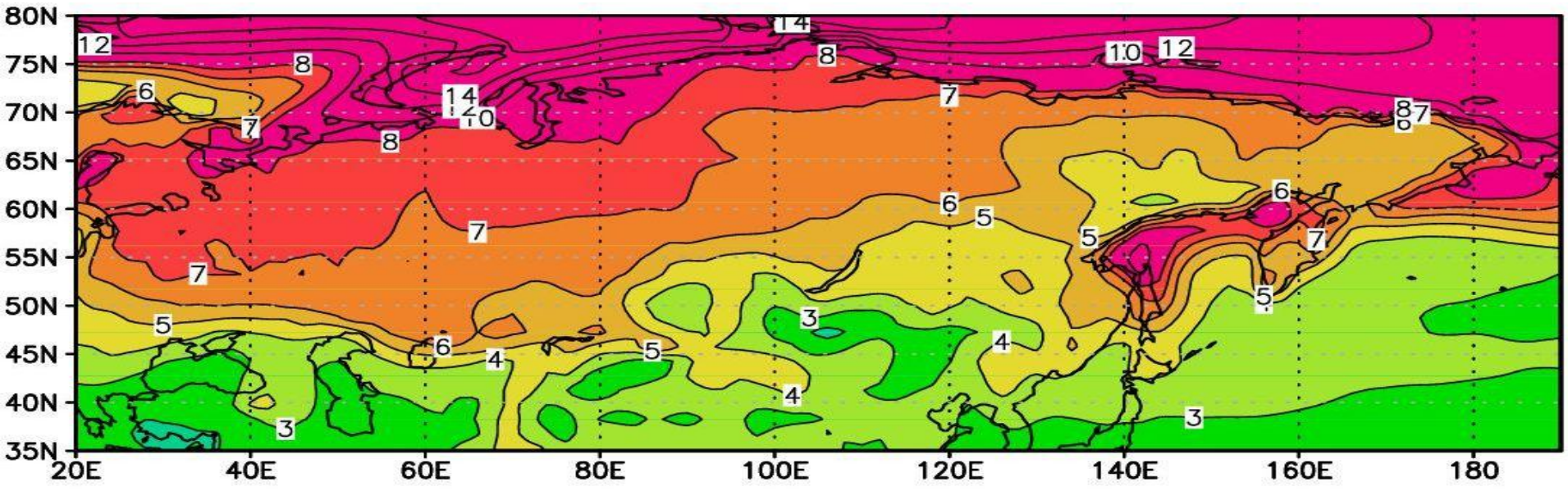


Прогноз будущих изменений климата

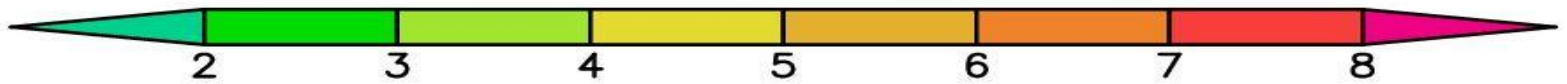
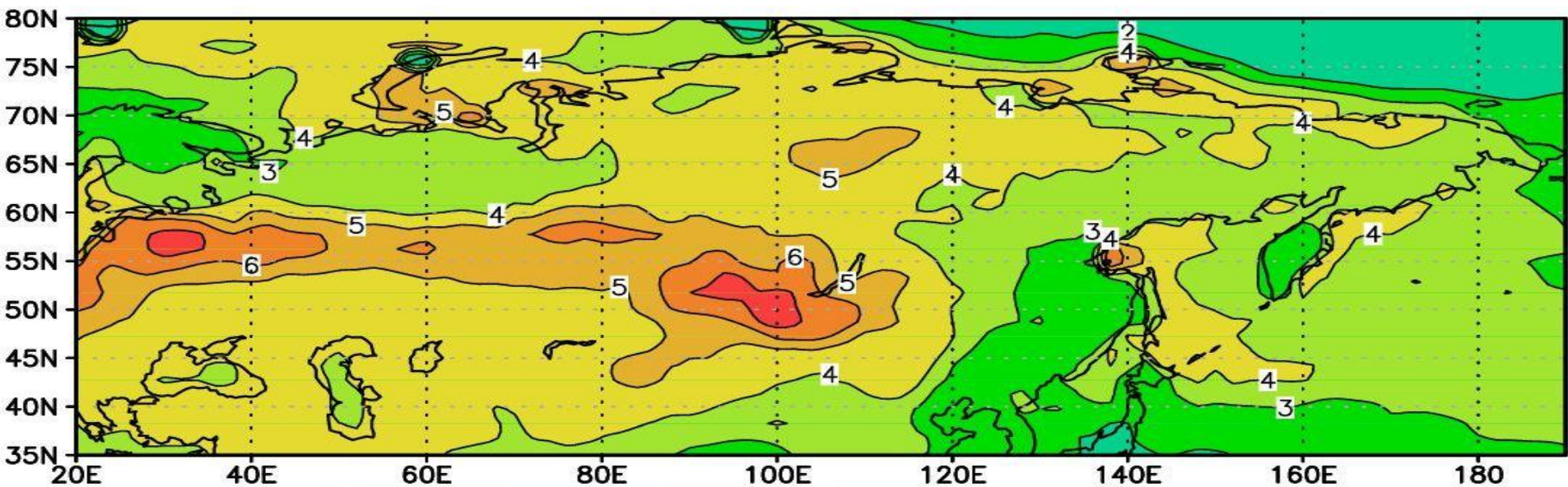
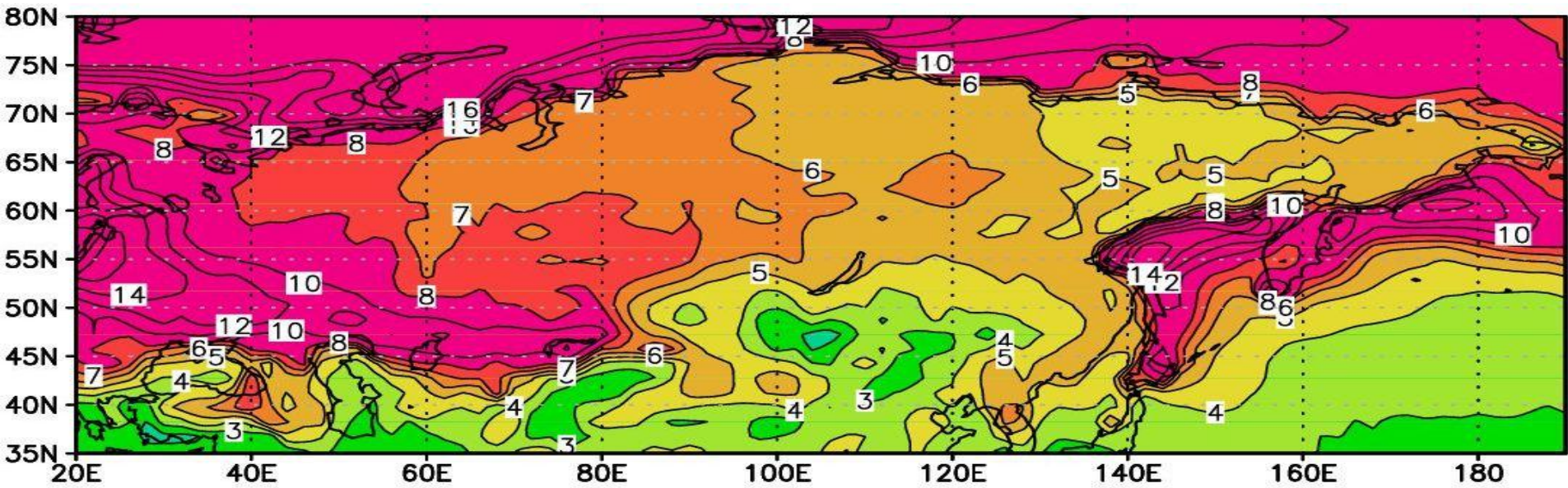
Annual Average GMST (anomalies wrt 1995-2014)
CMIP6 (6 models)



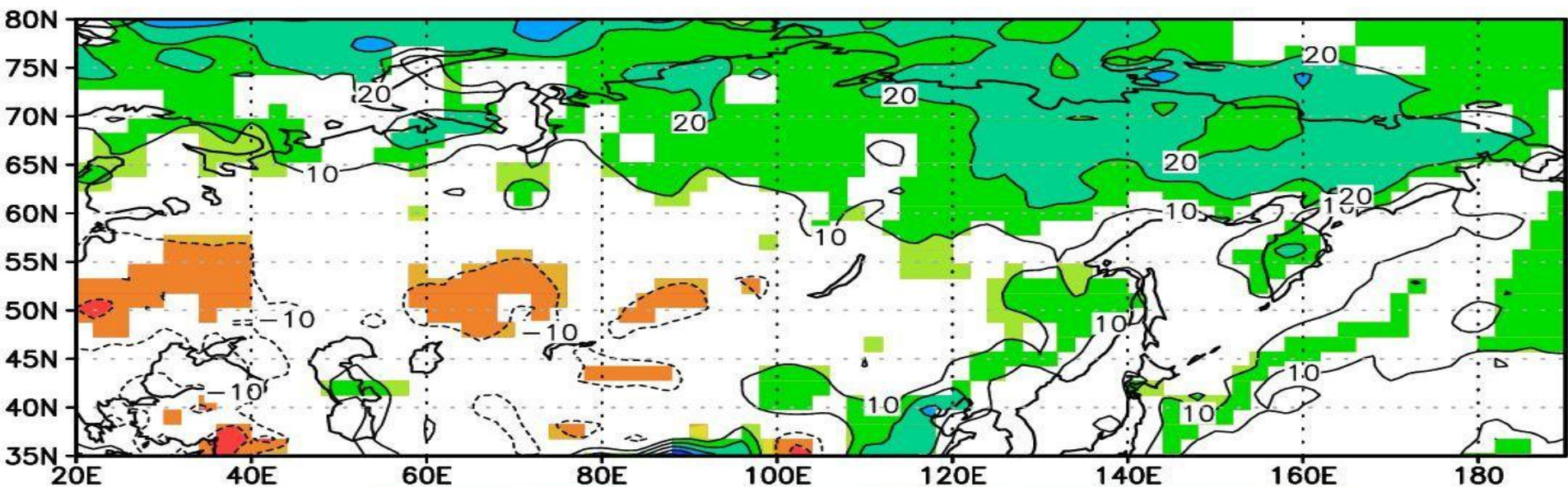
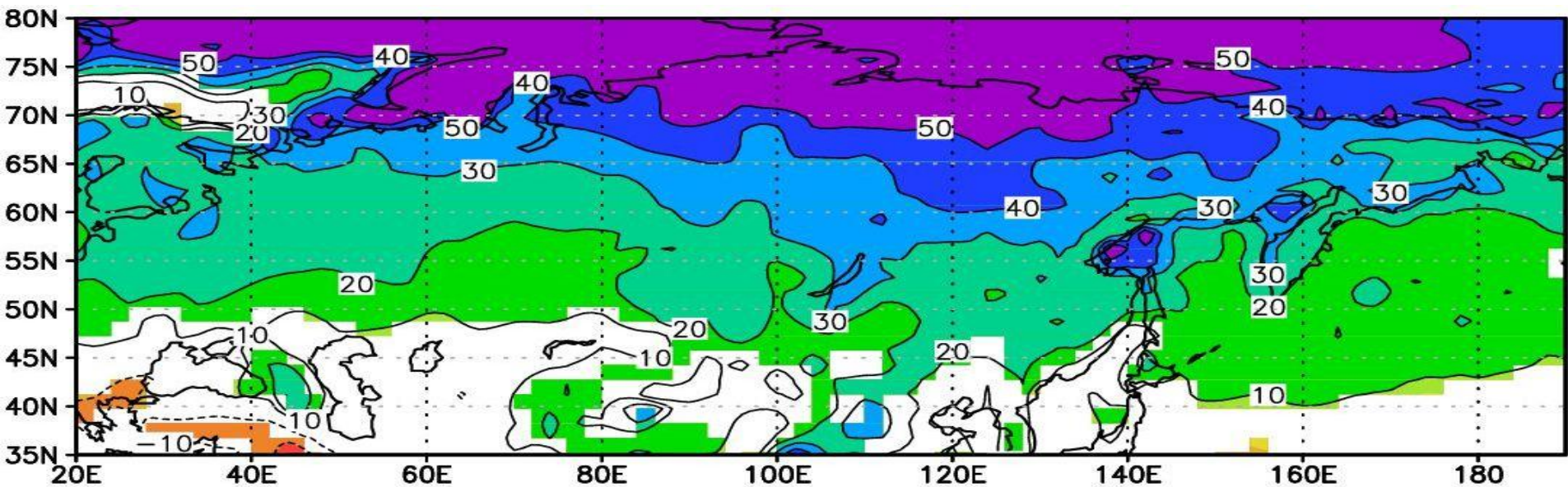
Отличие приземной температуры в 2071-2100г от 1981-2010г при сценарии ssp370



Изменение минимальной за год и максимальной за год температуры



Относительное изменение осадков (%) зимой и летом. Цветом отмечены области, где все члены ансамбля показывают одинаковый знак изменения.



Прогноз аномалий погоды и климата на срок от сезона до 5 лет

Используются:

Начальные данные для атмосферы, поверхности суши и почвы (реанализ ERA5),

Начальные данные для океана и морского льда (реанализы SODA3.4.2, ORAS5, анализ ГМЦ)

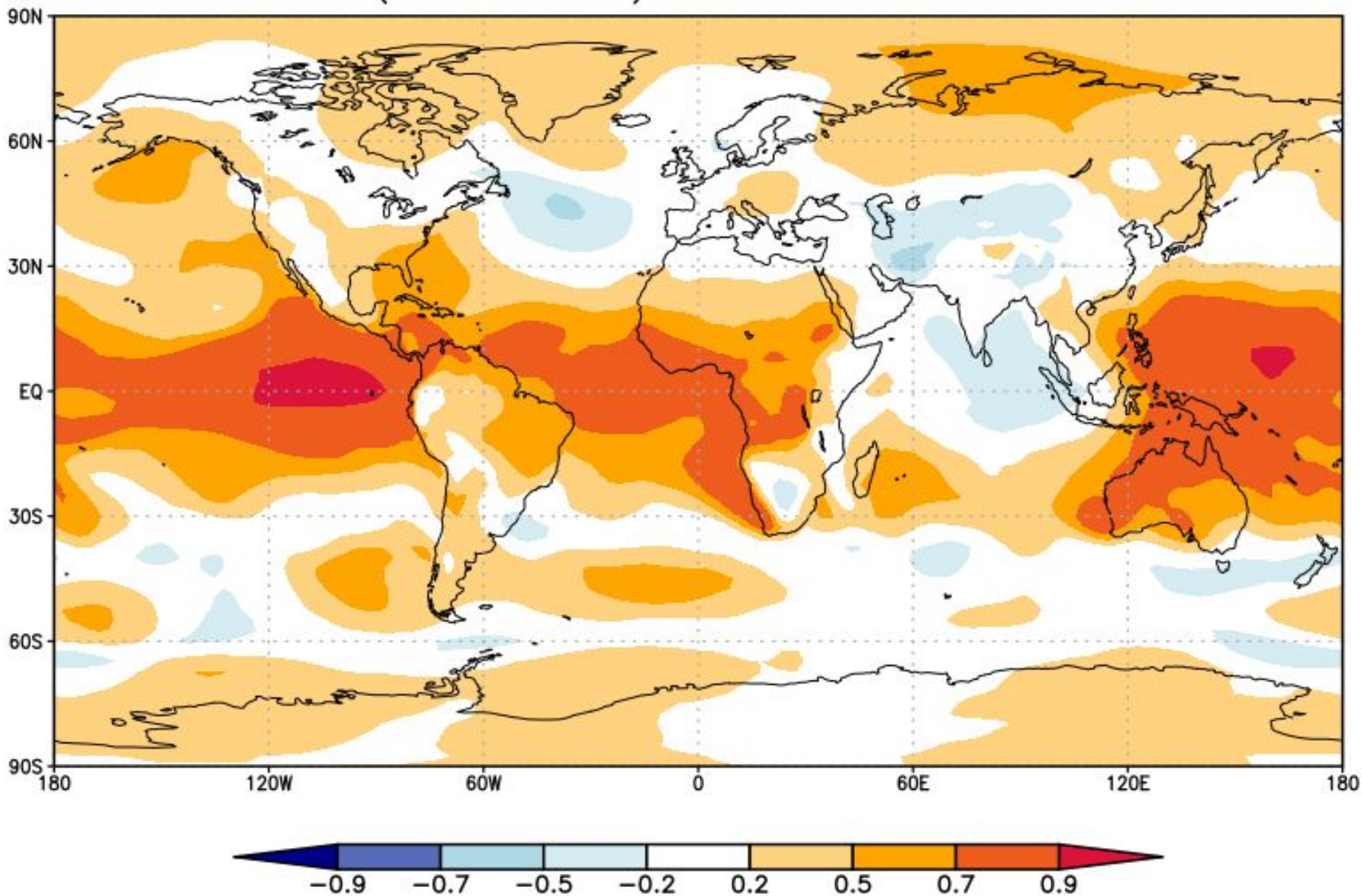
Верификация сезонных прогнозов для 1990-2019, прогнозов на 1-5 лет для 1960-2019.

Оперативные прогнозы на сезон раз в месяц, на 5 лет – раз в год.

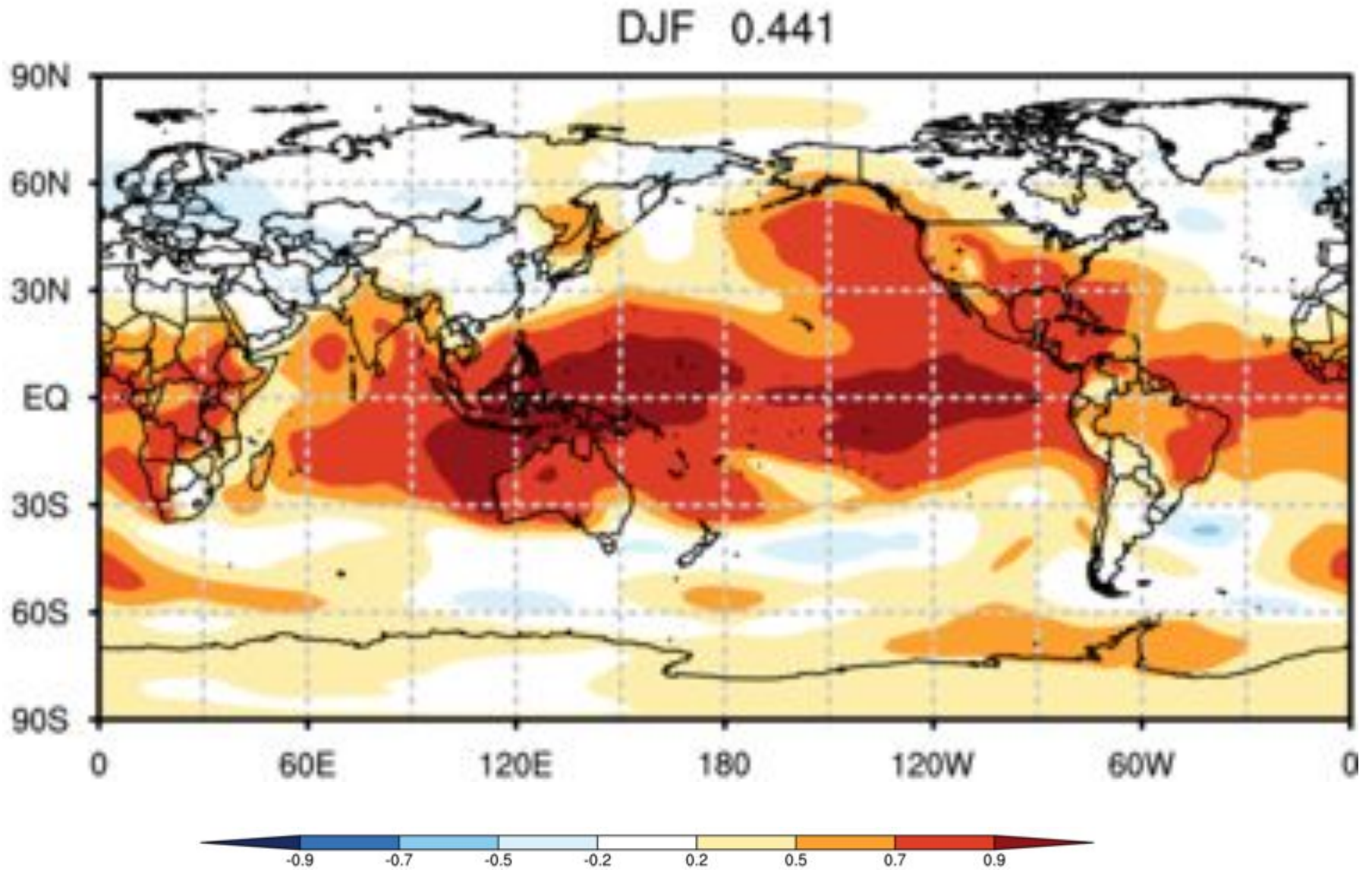
Для сезонных прогнозов 20-50 членов ансамбля, для прогнозов на 5 лет 10-15 членов ансамбля.

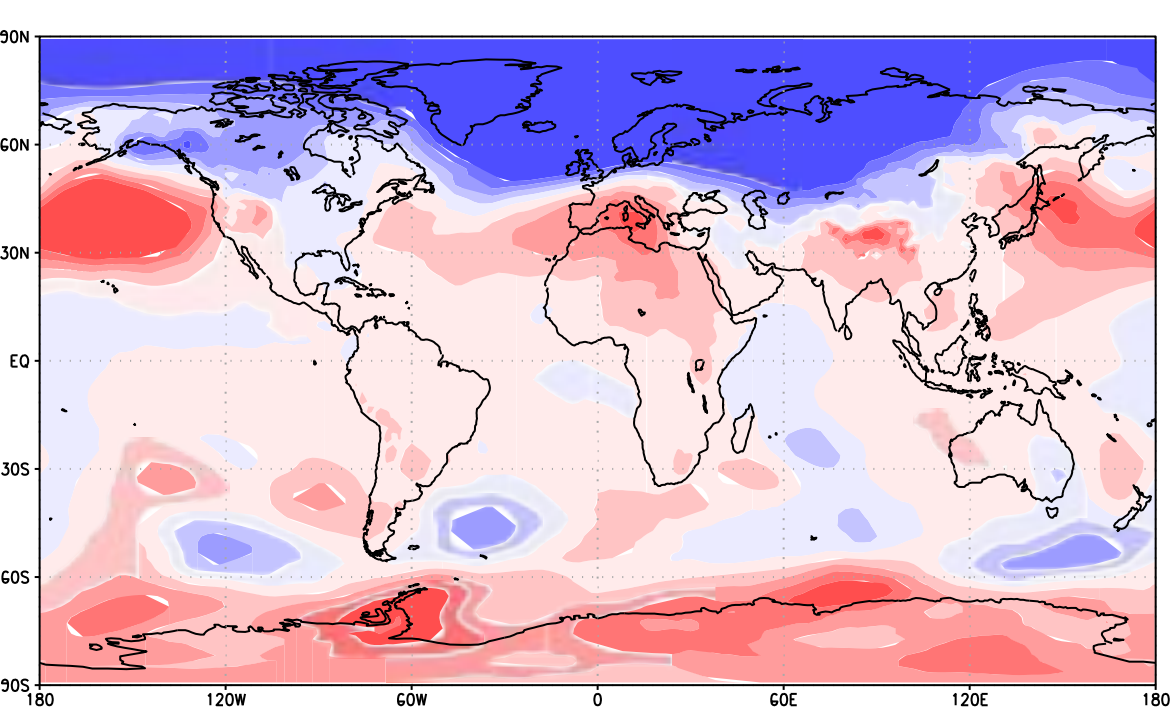
К-т корреляции аномалий давления на уровне моря для декабря-января. Начало расчетов 1 ноября.

SLP DJF (from 1 Nov) OS=SODA3.4.2 ACC=0.324

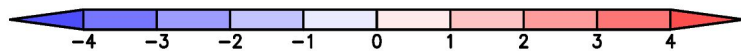
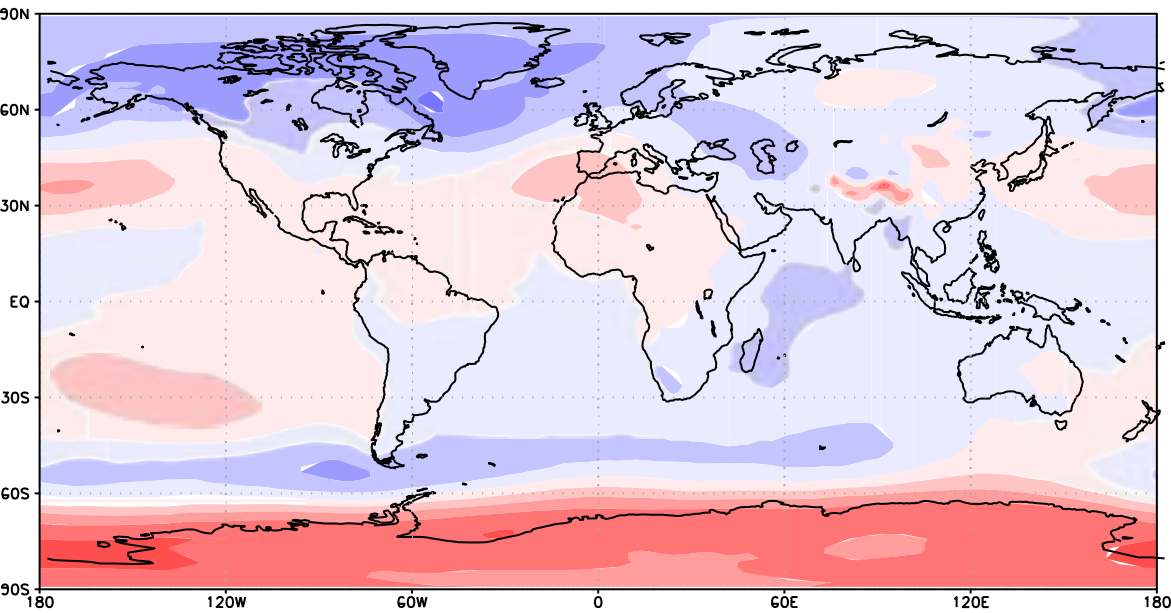


То же для ECMWF (<http://wmo1c.org>)

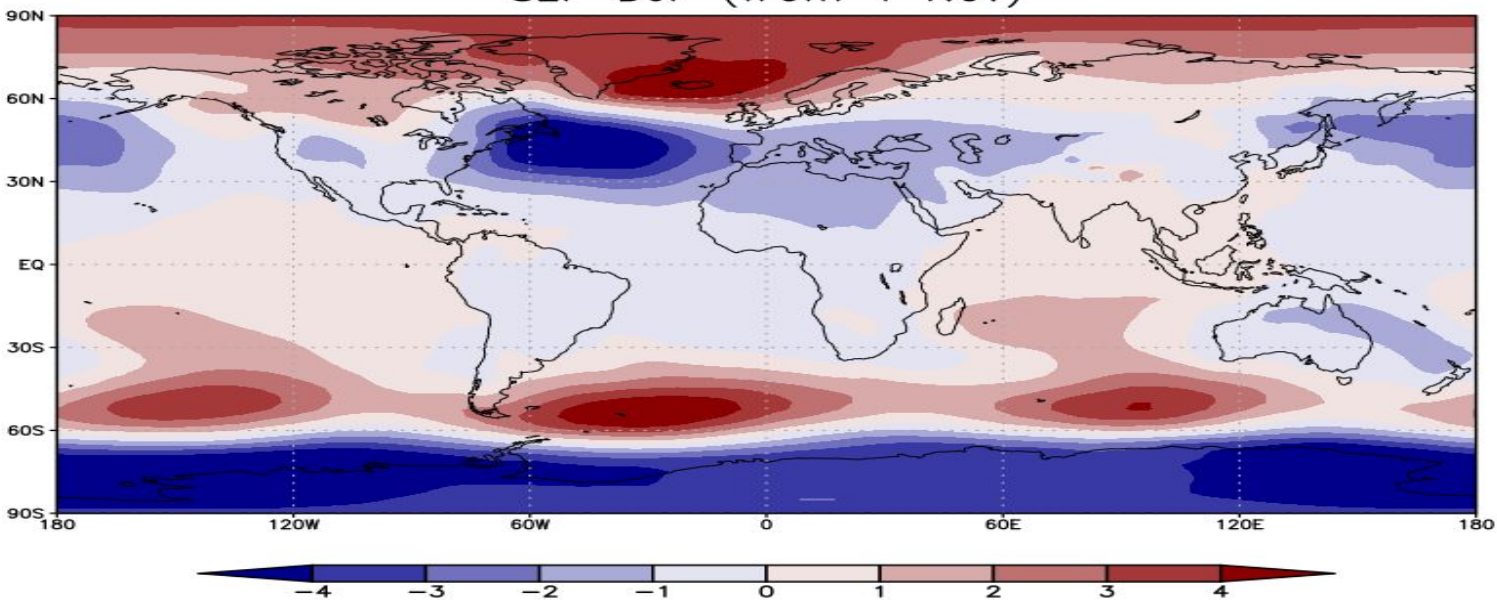




Наблюдавшиеся и модельные
аномалии давления на уровне моря
в декабре-феврале 2019-2020г

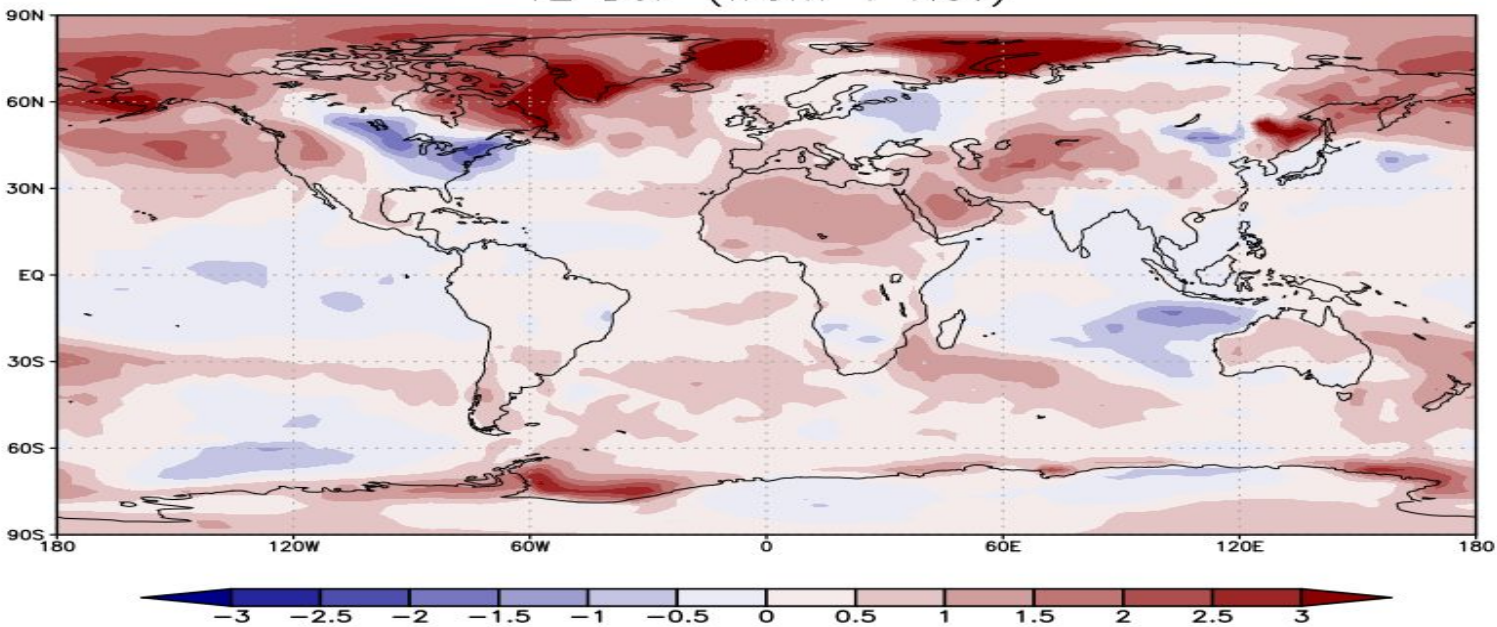


SLP DJF (from 1 Nov)

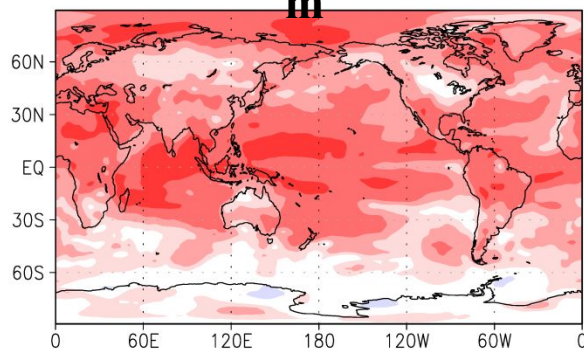


Ожидаемые
аномалии
давления и
температуры в
декабре-феврале
2022-2023г.
Начало расчета 1
ноября.

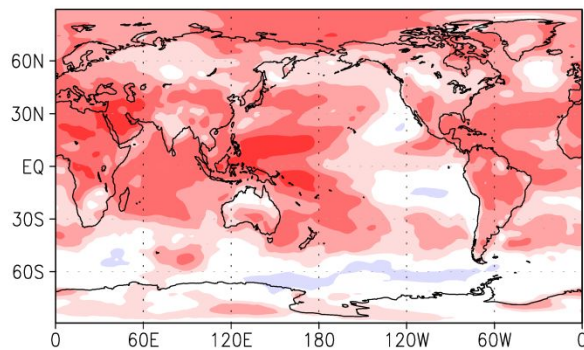
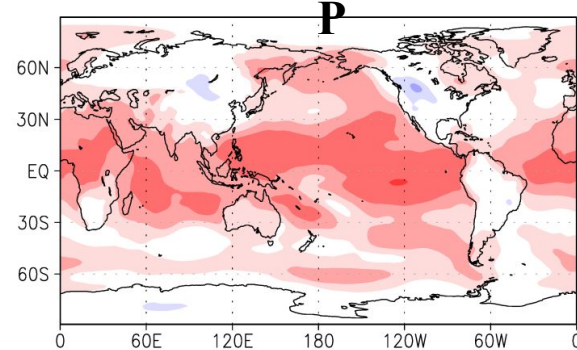
T2 DJF (from 1 Nov)



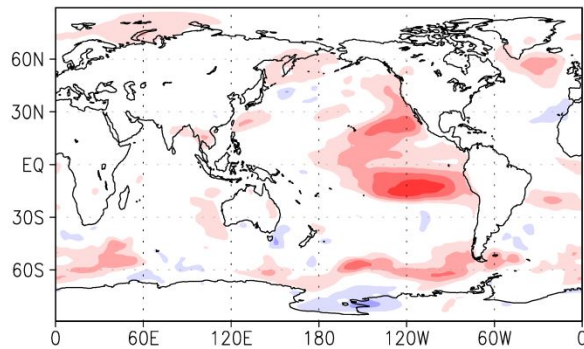
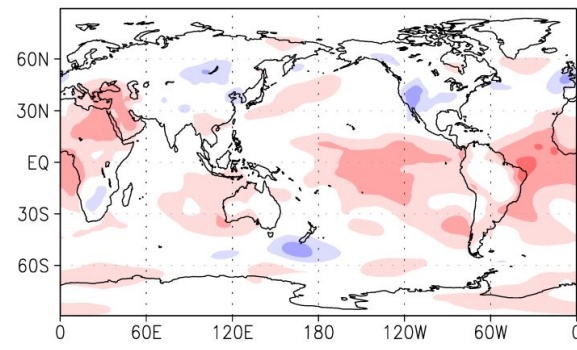
Корреляция прогнозируемых на следующий год и наблюдаемых среднегодовых аномалий (за 1980-2015 гг относительно 1981-2010)



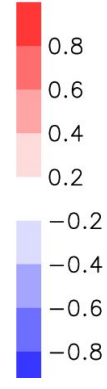
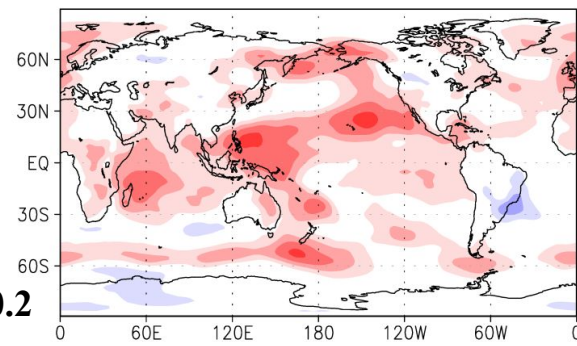
Прогностически
й
ансамбль



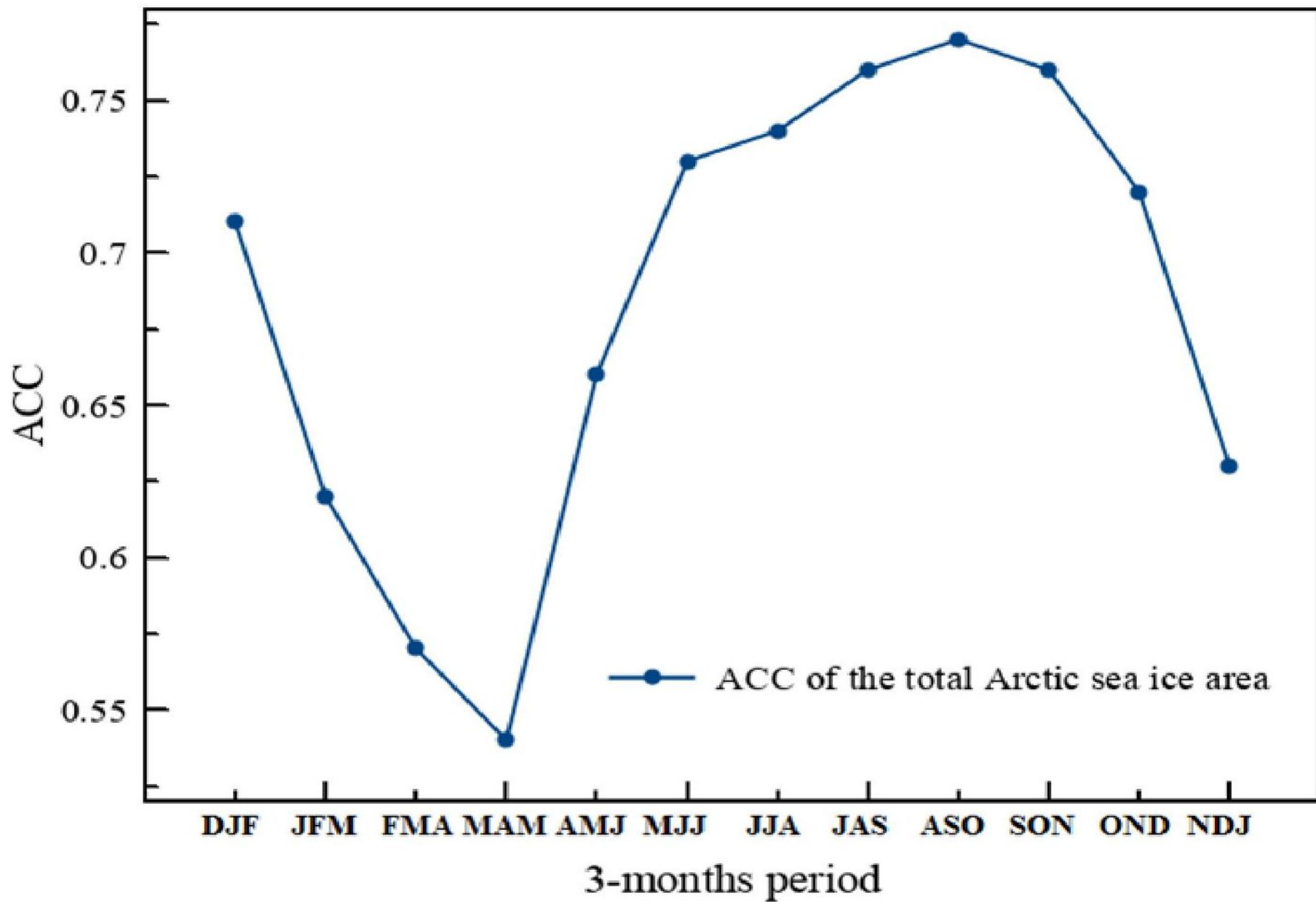
Исторически
й
ансамбль

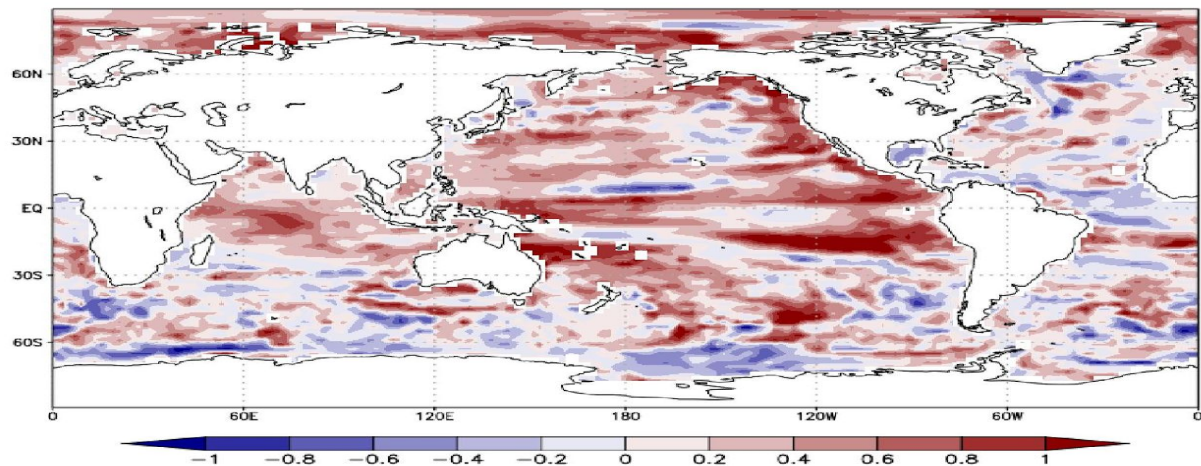
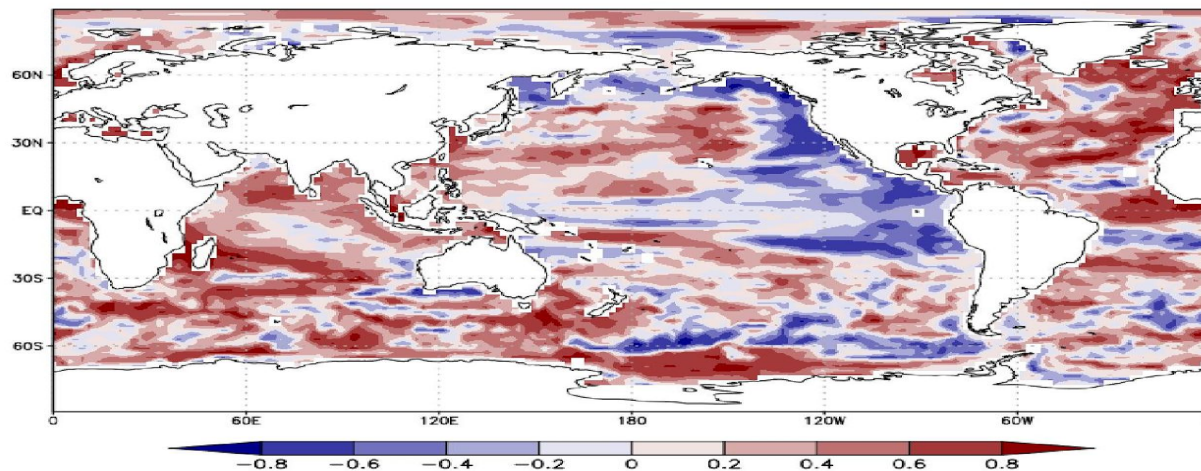
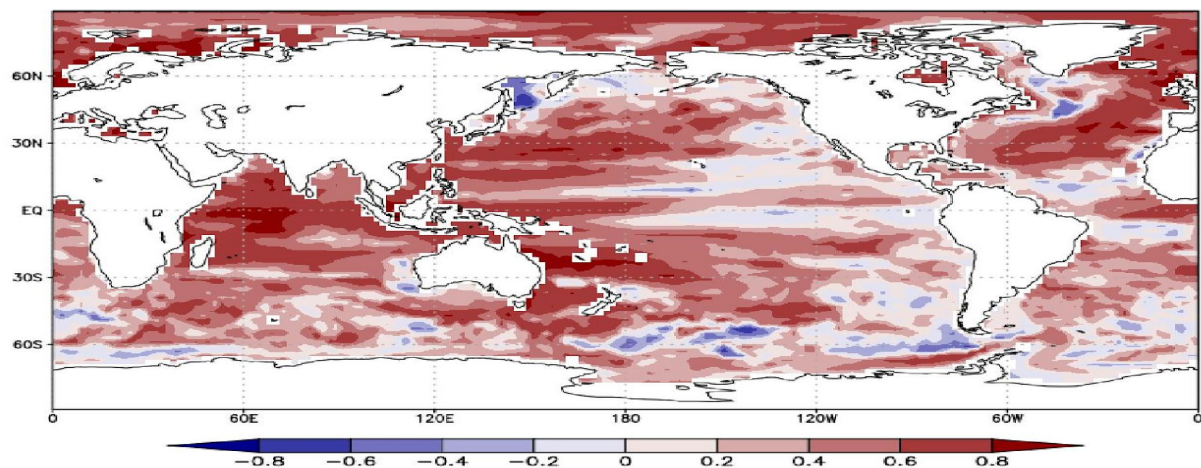


«ПА» - «ИА»
Средняя корреляция +0.1/+0.2



К-т корреляции аномалий модельной и наблюдаемой площади арктического льда в 1980-2019г

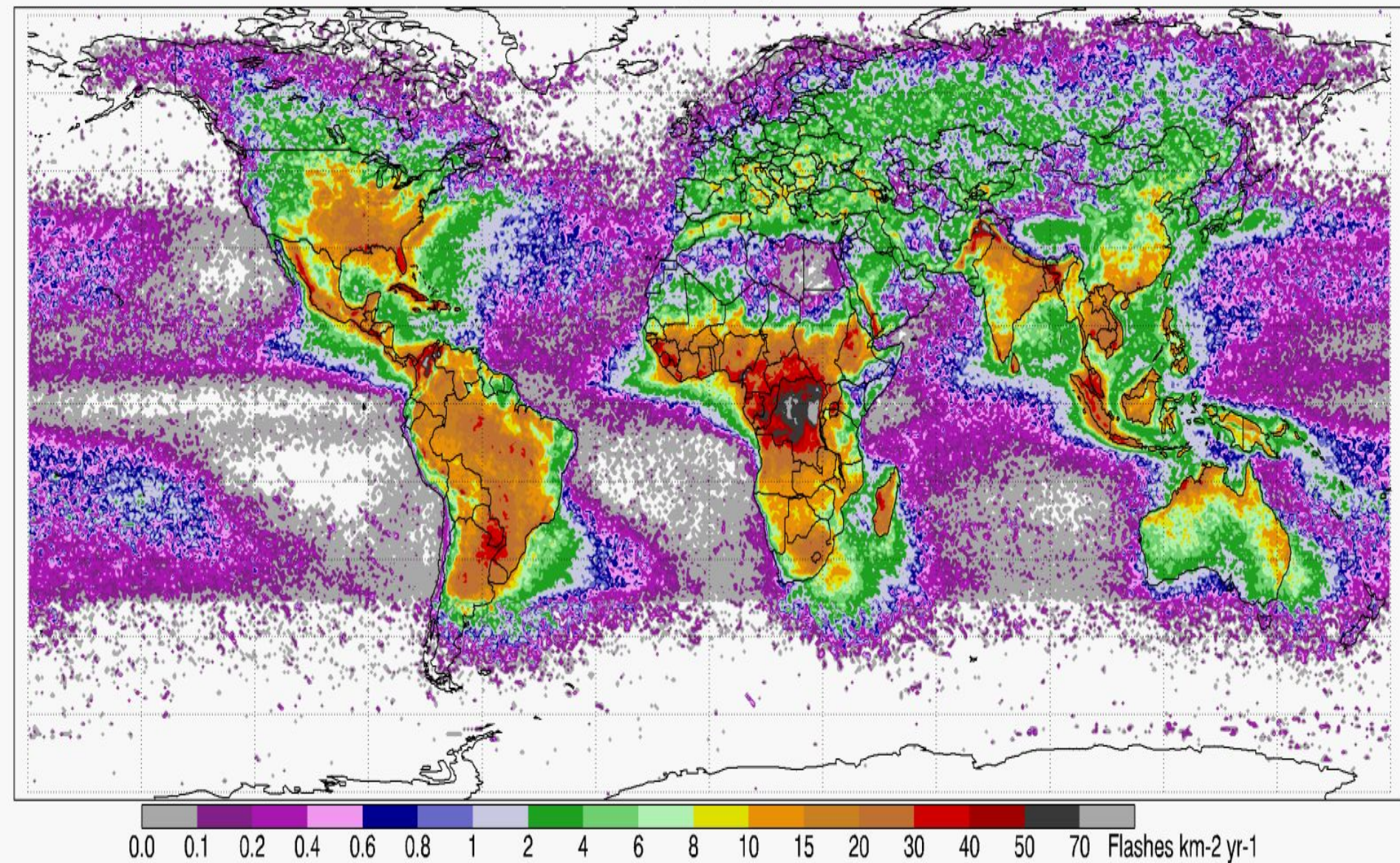




К-т корреляции аномалий
теплосодержания слоя 0-300м
среднего за 5 лет для
расчетов, использующих
воздействия и начальное
состояние (вверху), только
воздействия (в середине) и их
разность (внизу)

Наблюдаемая климатология молниевых вспышек

HRFC_COM_FR



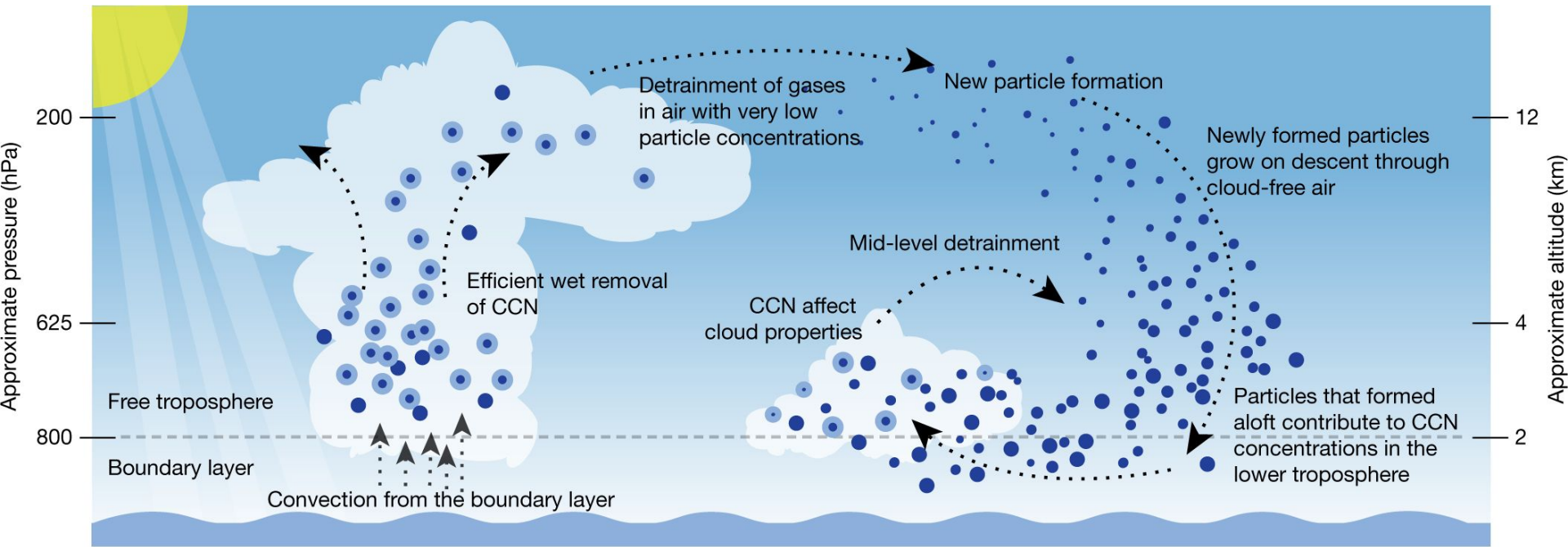
Параметризация количества молниевых вспышек на основе конвективной кинетической энергии

CKE – конвективная кинетическая энергия,
 TKE – турбулентная кинетическая энергия,
 $CAPE$ – конвективная доступная потенциальная энергия,
 τ_{GEN} , τ_{DISS} - характерные времена генерации и
диссипации

$$CAPE = \int_{z_{bot}}^{z_{top}} g^* (T_{CL} - T_{ENV}) / T_{ENV} dz$$

$$TKE = \int_{z_{bot_pbl}}^{z_{top_pbl}} K_{VD}^2 dz,$$

$$\frac{dCKE}{dt} = \frac{CAPE * TKE}{\tau_{GEN}} - \frac{CKE}{\tau_{DISS}}$$



Observed (top) and modeled (bottom) flash climatology

HRFC_COM_FR

