

Инициализация сезонных ретроспективных прогнозов климатической модели INMCM5 с использованием техники притягивания

М. А. Тарасевич^{1,2,3}, Е. М. Володин^{1,2,3}

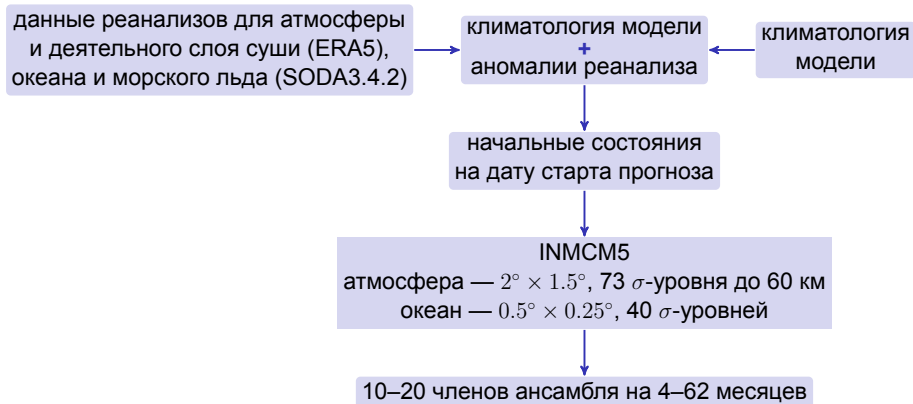
¹Институт вычислительной математики им. Г. И. Марчука Российской
академии наук

²Московский физико-технический институт

³Гидрометцентр России

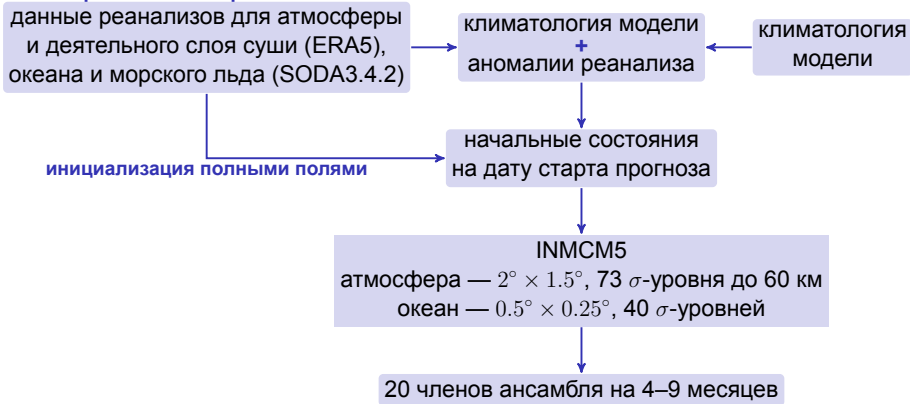
21 ноября 2024 г.

Использование INMCM5 для прогнозов на сезон и более



- Используется в Гидрометцентре России (ГМЦ) и СЕАКЦ для оперативного прогноза на 1–5 лет, входит в WMO LC ADCP

Инициализация полными полями



- Полными полями инициализируются:
 - ▶ в модели атмосферы — температура и влажность воздуха, горизонтальные компоненты скорости ветра
 - ▶ в модели океана — температура и солёность океана, сплоченность и толщина морского льда, уровень моря
- Оперативный сезонный прогноз с INMCM6M в ГМЦ

Проблемы инициализации в терминах аномалий и в полных полях

- Поля основных прогностических переменных могут быть несогласованными с точки зрения динамики INMCM5
- Давление на поверхности можно инициализировать только в терминах аномалий из-за большой разницы в орографии между INMCM5 и ERA5
- Некорректная инициализация температуры и влажности почвы, так как в ERA5 эти данные доступны только на 4 вертикальных уровнях
- Некорректная инициализация водноэквивалентной толщины снежного покрова, так как при выпуске реанализа ERA5 данные соответствующих наблюдений не усваиваются

Климатический расчет с притягиванием

- Используются мгновенные 3-часовые поля температуры воздуха и горизонтальных компонент скорости ветра на 37 уровнях давления по данным реанализа ERA5
- Используются среднемесячные поля температуры и солёности океана на 50 вертикальных уровнях по данным реанализа SODA3.4.2
- Расчёт выполняется с 1 января 1990 по 31 декабря 2020 гг
- Во время расчёта сохраняются мгновенные состояния атмосферы и океана на 1 ноября каждого года

Уравнения гидротермодинамики атмосферы

$$\frac{du}{dt} - \left(f + \frac{u}{a} \operatorname{tg} \varphi\right) v + \frac{1}{a \cos \varphi} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda} + \frac{RT}{p_s} \frac{\partial p_s}{\partial \lambda} \right) = F_u + \frac{u_R - u}{\tau_{atm}},$$

$$\frac{dv}{dt} + \left(f + \frac{u}{a} \operatorname{tg} \varphi\right) u + \frac{1}{a} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} + \frac{RT}{p_s} \frac{\partial p_s}{\partial \varphi} \right) \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} = F_v + \frac{v_R - v}{\tau_{atm}},$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} = -\frac{RT}{\sigma},$$

$$\frac{dT}{dt} - \frac{RT}{p_s C_p} \left(\frac{\partial p_s}{\partial t} + \frac{u}{a \cos \varphi} \frac{\partial p_s}{\partial \lambda} + \frac{v}{a} \frac{\partial p_s}{\partial \varphi} + \frac{p_s \dot{\sigma}}{\sigma} \right) = F_T + \varepsilon + \frac{T_R - T}{\tau_{atm}},$$

$$\frac{dq}{dt} = F_q - (C - E),$$

$$\frac{\partial p_s}{\partial t} + \frac{1}{a \cos \varphi} \left(\frac{\partial p_s u}{\partial \lambda} + \frac{\partial p_s v \cos \varphi}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial p_s \dot{\sigma}}{\partial \sigma} = 0.$$

- Характерное время релаксации выбрано $\tau_{atm} = 6 \text{ ч}$

Уравнения гидротермодинамики океана

$$\frac{du}{dt} - (l + \xi) v H = -\frac{H}{r_x} \left(\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial(P + p_a)}{\partial x} - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial \sigma} \frac{\nu}{H} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + F_u,$$

$$\frac{dv}{dt} + (l + \xi) u H = -\frac{H}{r_y} \left(\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial(P + p_a)}{\partial y} - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial \sigma} \frac{\nu}{H} \frac{\partial v}{\partial \sigma} + F_v,$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \frac{\nu_\theta}{H} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} + D\theta - \frac{\partial R}{\partial \sigma} + \frac{\theta_R - \theta}{\tau_{oc}},$$

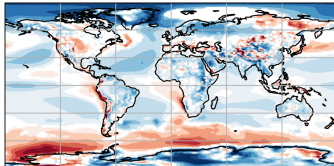
$$\frac{dS}{dt} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \frac{\nu_S}{H} \frac{\partial S}{\partial \sigma} + DS + \frac{S_R - S}{\tau_{oc}},$$

$$\rho = \tilde{\rho}(\theta, S, P),$$

- Характерное время релаксации выбрано $\tau_{oc} = 7$ суток

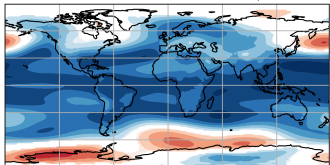
Результаты притягивания

Annual deviation of Near-Surface Air Temperature, K
INMCM5 HIST (nens=15) - ERA5+CERES, p-value < 5%



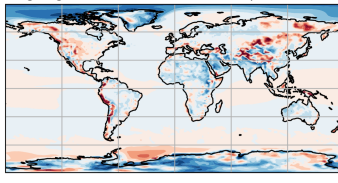
Historical, RMSE=2.0 K

Annual deviation of Geopotential Height at 500hPa, m
INMCM5 HIST (nens=15) - ERA5+CERES, p-value < 5%



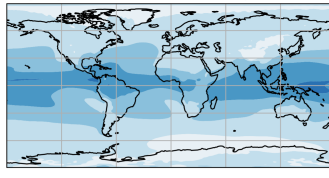
Historical, RMSE=43 м

Annual deviation of Near-Surface Air Temperature, K
Nudging TUV, OC 1w - ERA5+CERES, p-value < 5%



Nudging, RMSE=1.4 K

Annual deviation of Geopotential Height at 500hPa, m
Nudging TUV, OC 1w - ERA5+CERES, p-value < 5%

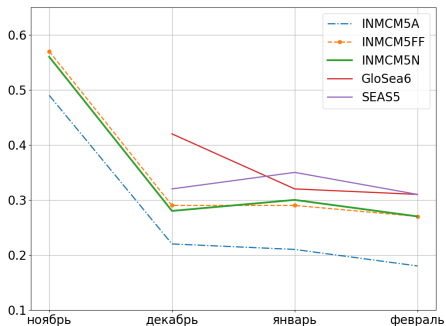


Nudging, RMSE=24 м

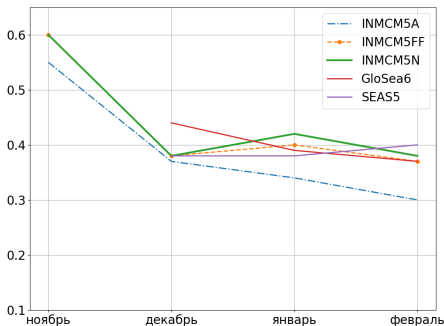
Ретроспективные прогнозы на зимние сезоны 1993/1994–2009/2010 гг

- Для инициализации деятельного слоя суши и модели океана используются результаты расчёта эксперимента с притягиванием
- Модель атмосферы инициализируется полными полями реанализа ERA5
- Для задания начального состояния морского льда используются полные поля реанализа SODA3.4.2
- Расчёты стартуют 1 ноября 1991–2020 гг и длятся 5 модельных месяцев
- Результаты ретроспективных прогнозов на зимние сезоны 1993–2009 гг сравниваются с INMCM5, инициализированной в терминах аномалий и в полных полях, а также с SEAS5 (ECMWF) и GloSea6 (MetOffice)

Изменение коэффициента корреляции аномалий

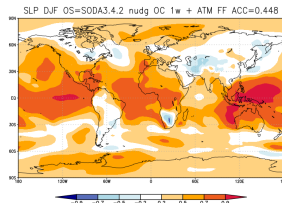
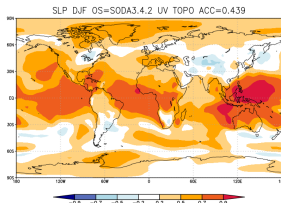
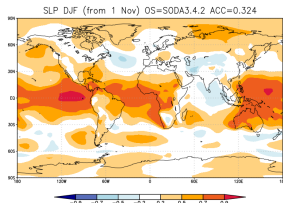


Давление на уровне моря

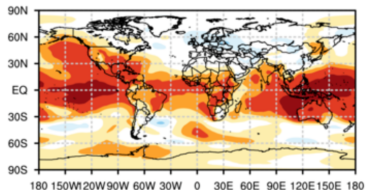


Приземная температура воздуха

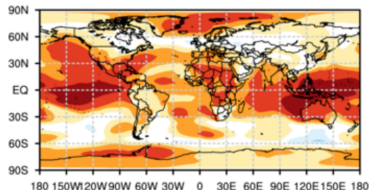
Давление на уровне моря



INMCM5A, ACC=0.32 INMCM5F, ACC=0.44 INMCM5N, ACC=0.45

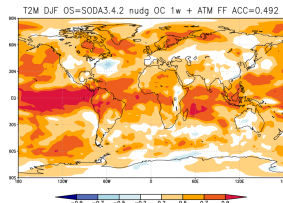
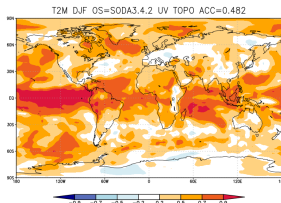
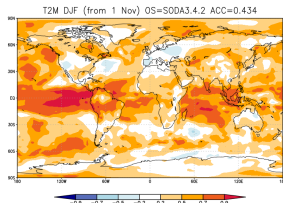


SEAS5, ACC=0.44

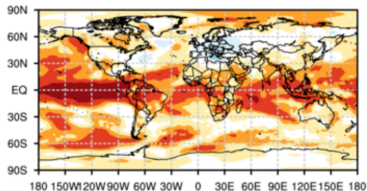


GloSea6, ACC=0.52

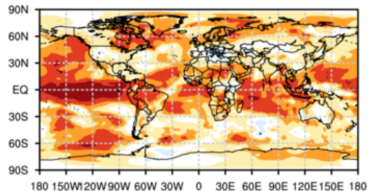
Приземная температура воздуха



INMCM5A, ACC=0.43 INMCM5F, ACC=0.48 INMCM5N, ACC=0.49



SEAS5, ACC=0.47



GloSea6, ACC=0.50

Выводы

- Проведение расчёта с притягиванием значительно приближает климат INMCM5 к наблюдаемому
- Полученные в результате такого расчёта начальные данные можно использовать для инициализации INMCM5 в сезонном прогнозе
- Качество ретроспективных прогнозов INMCM5 на зимние сезоны находится на уровне лучших систем сезонного прогноза
- Результаты серии зимних ретроспективных прогнозов, в которой при инициализации INMCM5 использовались данные расчёта с притягиванием, оказались несколько лучше по сравнению с теми, где INMCM5 инициализировалась полными полями

Спасибо за внимание!

Вопросы?

mashatarasevich@gmail.com