



Моделирование климата Мирового океана в рамках национальной модели Земной Системы RusESM

Яковлев Н.Г., Благодатских Д.В., Ежкова А.А., Оноприенко В.А.

Институт Вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, г. Москва

Modeling of the climate of the World Ocean within the framework of the National model of the Earth System RusESM

Iakovlev N., Blagodatskikh D., Ezhkova A., Onoprienko V.

G.I. Marchuk Institute of Numerical Mathematics RAS, Moscow

Международная конференция "Физика атмосферы и климата", посвященная 70-летию Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, 6-9 апреля 2026, г. Кисловодск, Россия



The history of the World Ocean sigma-model (INMOM) development 1984-2009

Залесный В.Б. Моделирование крупномасштабных движений в Мировом океане. М.: ОВМ АН СССР. 1984. 158 с.

Багно А.В., Залесный В.Б. Численное моделирование климатической термохалинной циркуляции Северной Атлантики // Океанология. 1992. Т. 32. № 5. С. 789-800.

Алексеев В.В., Залесный В.Б. Численная модель крупномасштабной динамики океана // Вычислительные процессы и системы / Ред. Марчук Г.И. Вып. 10. М.: Наука. 1993. С. 232-252.

Багно А.В., Гаращук Р.В., Залесный В.Б. Модель крупномасштабной циркуляции океана и эволюции морского льда // Океанология. 1996. Т. 36. № 2. С. 197-206.

Дианский Н.А., Багно А.В., Залесный В.Б. Сигма-модель глобальной циркуляции океана и ее чувствительность к вариациям напряжения трения ветра // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2002. Т.38. № 4. С. 537-556.

Дианский Н.А., Володин Е.М. Воспроизведение современного климата с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2002. Т. 38. №6. С. 824-840.

Русаков А.С., Дианский Н.А. Параллельная модель общей циркуляции океана для многопроцессорных вычислительных систем // Информационные технологии. 2003. №8. С. 20-26.

Гусев А.В. Численная модель гидродинамики океана в криволинейных координатах для воспроизведения циркуляции Мирового океана и его отдельных акваторий // Диссертация к.ф.-м.н. 2009. 144 с.



“Three Whales” of the INMOM

1. Time and Spatial Splitting Method by G.I. Marchuk.

Was important for 1970-1980 to solve theoretical problems of the World Ocean circulation.

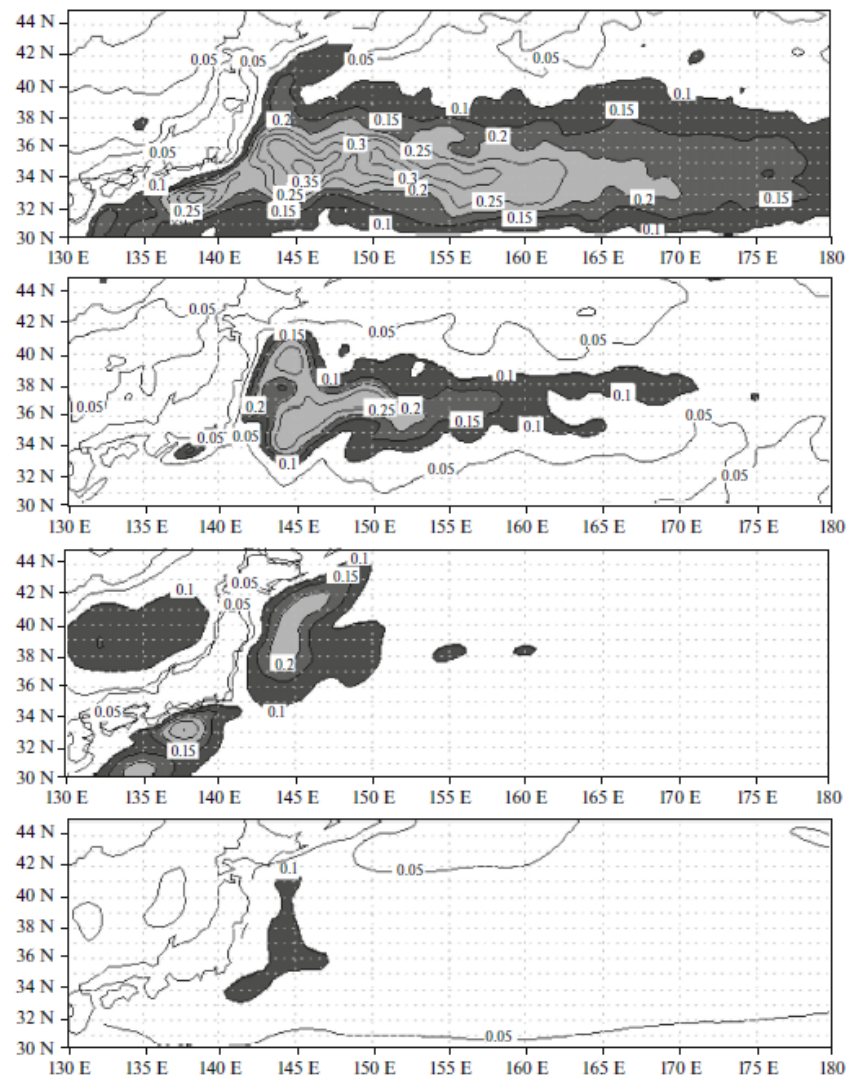
2. Special spatial approximations for the Coriolis force to implement implicit time schemes for barotropic and baroclinic flow velocity components.

The idea of using implicit time schemes originates from the poor computer capacities.

3. Sigma (terrain-following) coordinates. Is popular in sea shelf modelling, easy to programme.

Problems with spatial approximations and with the vertical physics parameterization tuning.

The main drawback of the old version of the INMOM:
Low variability at medium spatial resolutions



Kuroshio area,
AVISO satellite
data

Version 2016, hi-
res, 1/6 x 1/8

Version
2016, low-
res

The old version,
low-res

Fig. 4. Top-down: variability of the SSH (meters) in the region (130°–180° E, 30°–45° S) from observations, INMCM-ER, INMCM5, and INMCM4 data.

mainly contribute into the SSH variability amplitude in the eastward direction and of about 700 km in westward direction. The spatial structure of the disturbances is a wavy structure concentrated in the Agulhas

Current. Their propagation is, apparently, similar to propagation of Rossby waves, during which the scale of disturbances that move across the flow should be large. The temporal decomposition spectrum has no

Яковлев и др., ФАО 2016



Major goals

A. Modify as less, as possible

B. Present code revision and documentation

1. Ревизия численных методов, физических параметризаций и их программной реализации, и оценка их соответствия современному мировому уровню (моделям CMIP).
2. Приведение программного кода блоков океана и морского льда в соответствие с принятым стандартом Национальной МЗС.
3. Документация и регистрация программного кода.

C. Model development

1. Параметризации подсеточных/подфильтровых физических процессов
2. Ускорение работы наиболее затратных составляющих кода
3. Новые реализации параметризаций подсеточных процессов.
4. Новые реализации блока океана.
5. Новые реализации блока динамики морского льда.
6. Создание редуцированного блока биогеохимии океана для моделирования углеродного цикла.



Computational framework, documentation and development tool

Volodin, E., et.al. Computational framework for the Earth system modelling and the INM-CM6 climate model implemented on its base // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling 2024; 39(6):1–15.

<https://gitlab.inm.ras.ru/climate-model/inmcm60>

Important to notice:

Professor Evgeniy Volodin and his team:
V. Bragina, A. Chernenkov, M. Tarasevich,
Professor Andrey Gritsun,
Professor Ilya Chernov,
Dr Rostislav Fadeev.



Summary. Still in progress:

1. Не реализована параметризация вихревого переноса (Гент-МакВильямс).
2. Не удалось заставить корректно работать схему переноса CABARET в трехмерном случае в сигма-системе координат.
3. Не доделана KPP схема вертикальной турбулентности.
4. Не реализована параметризация склоновой конвекции.
5. Не сделана физически реалистичная схема речного стока.
6. Не реализована схема параметризации альбеда океана.
7. Численные схемы для расчета динамики морского льда (aEVP, mEVP, DUMKA) – в процессе.

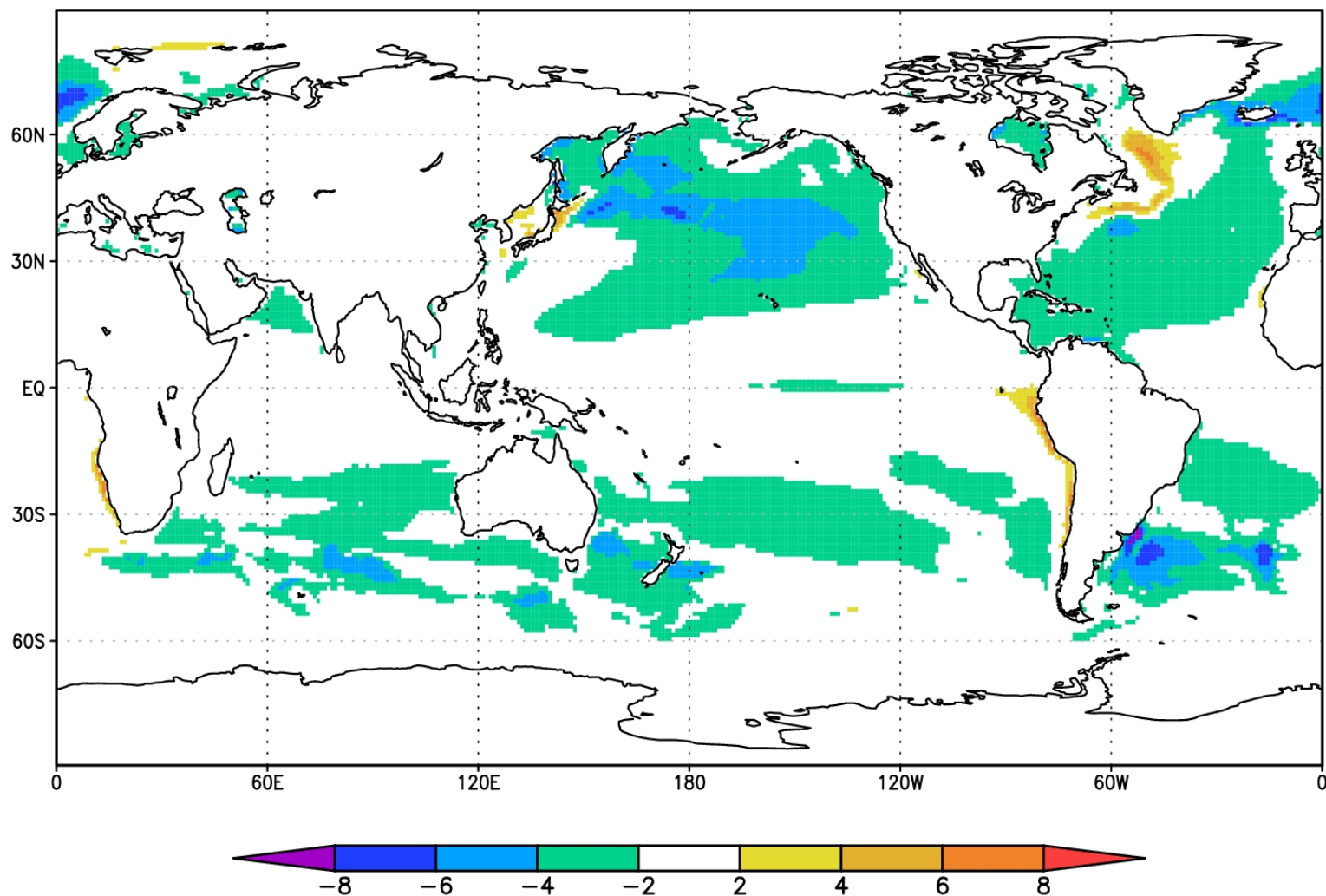


Summary. Done:

1. Проведена полная ревизия численных методов и кодов моделей динамики Мирового океана и морского льда и выявлены «узкие места», требующие улучшения или полной замены.
2. Блоки Мирового океана и морского льда приведены в соответствие с требованиями коммуникатора (каплера) национальной модели Земной Системы.
3. Сделана документация и руководство пользователя.
4. Код программ и документация выложены в открытый доступ.
5. Реализован программный модуль для построения различных сеток на сфере: двухполярной с сохранением географического экватора, и трехполярной типа NEMO-ORCA; пользователю дается свобода в выборе либо стандартной сетки из ограниченного набора, либо построения специфической пользовательской сетки.
6. **Внесены изменения в модель Мирового океана: изменена схема по времени интегрирования уравнений движения, реализованы различные квазимонотонные схемы переноса скаляров, реализована нелокальная диффузия скаляров вдоль изонейтральных поверхностей. Новая аппроксимация силы Кориолиса.**
7. Внесены изменения в модель морского льда: реализован набор схем переноса.
8. Реализованы два блока биохимии океана – с моделью BFM и с равновесной моделью для оценок баланса углерода.
9. **There was created the new young and qualified team.**

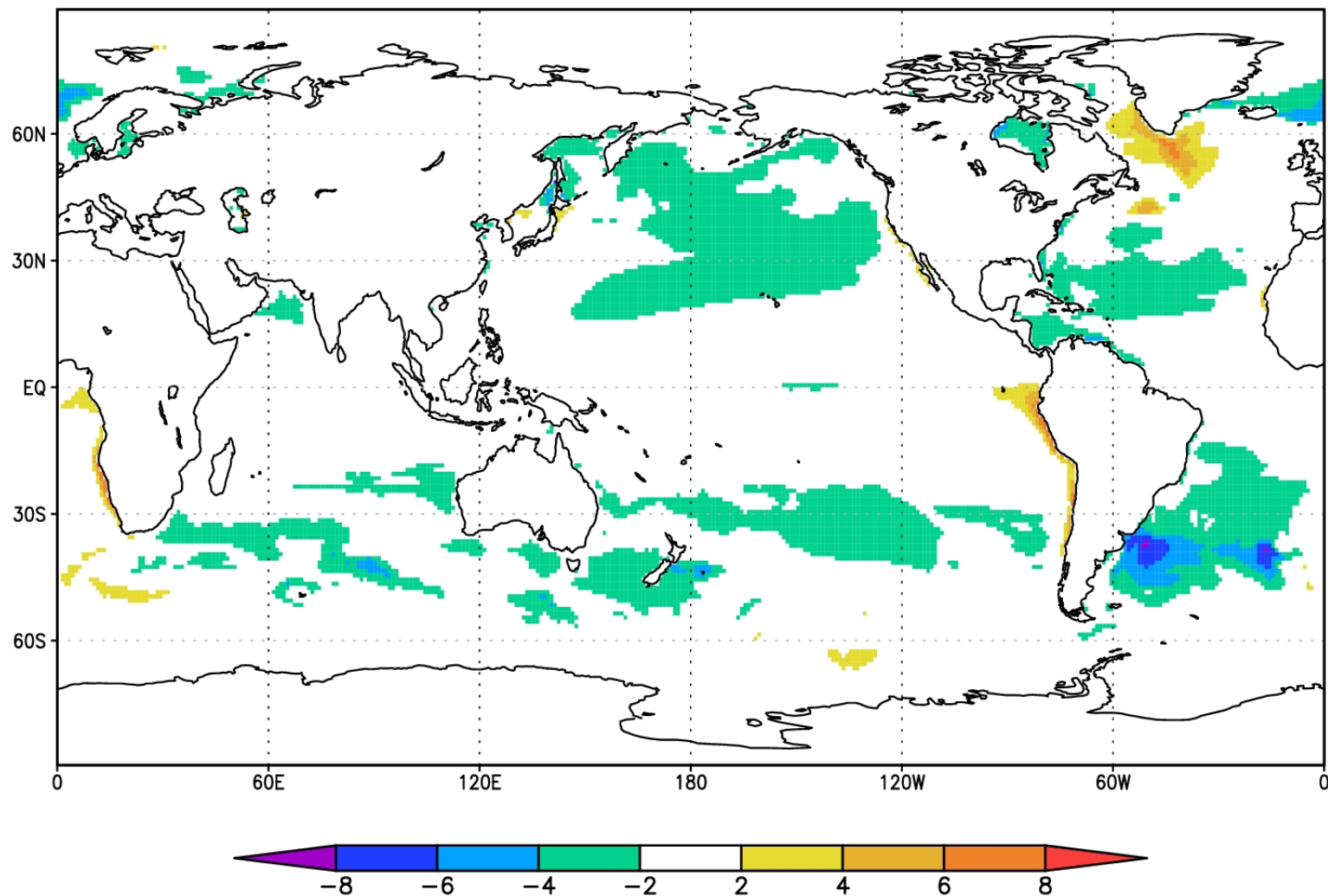


Coupled model. SST error (relative to WOA09). The old ocean model version (Thanks to E. Volodin)



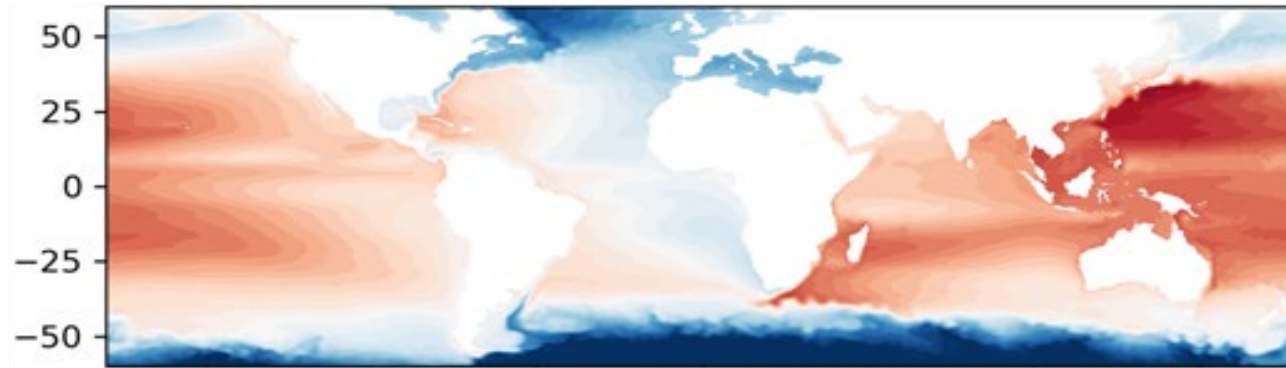


Coupled model. SST error (relative to WOA09). The new ocean model version (Thanks to E. Volodin)

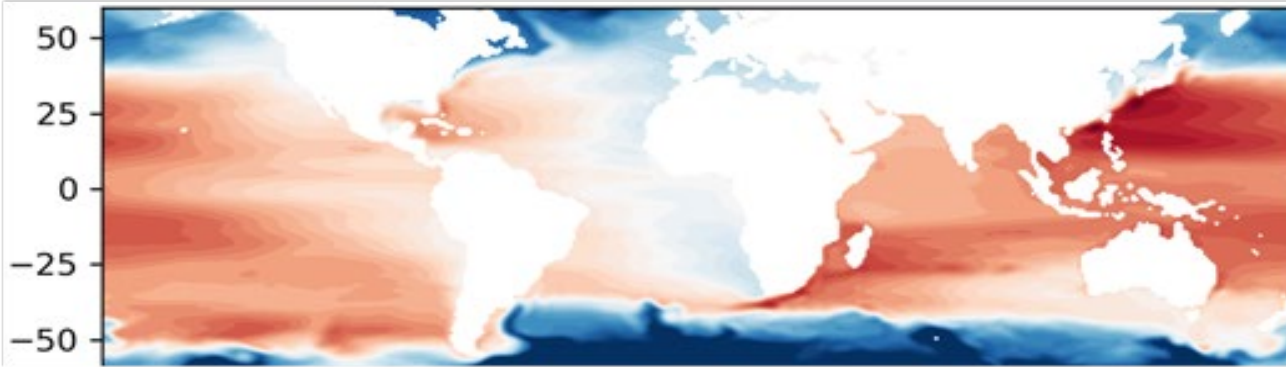


Mean sea level (cm). CORE-II protocol

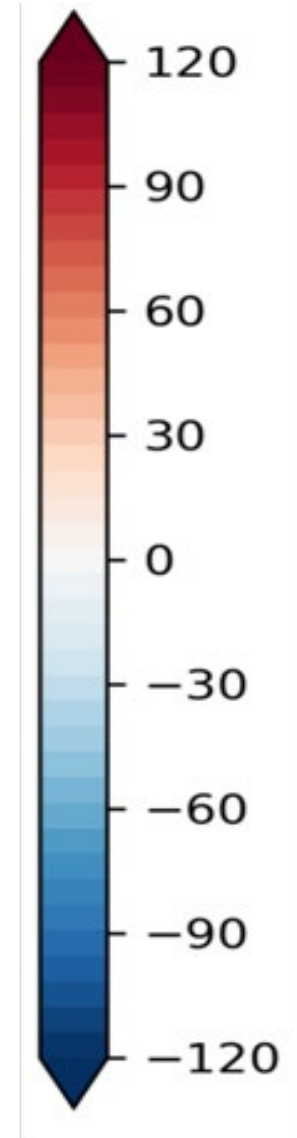
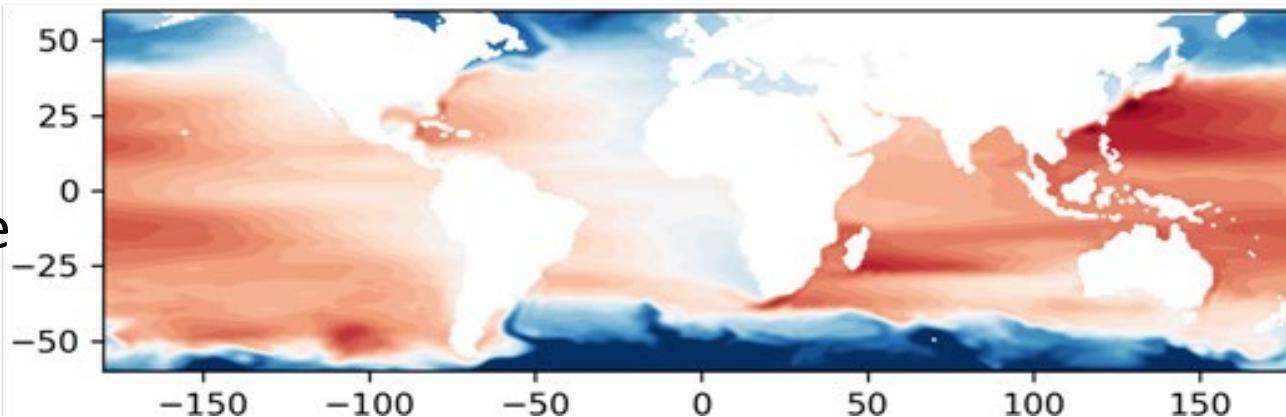
ORAS5
reanalysis



Old Coriolis –
no
Gulfstream!

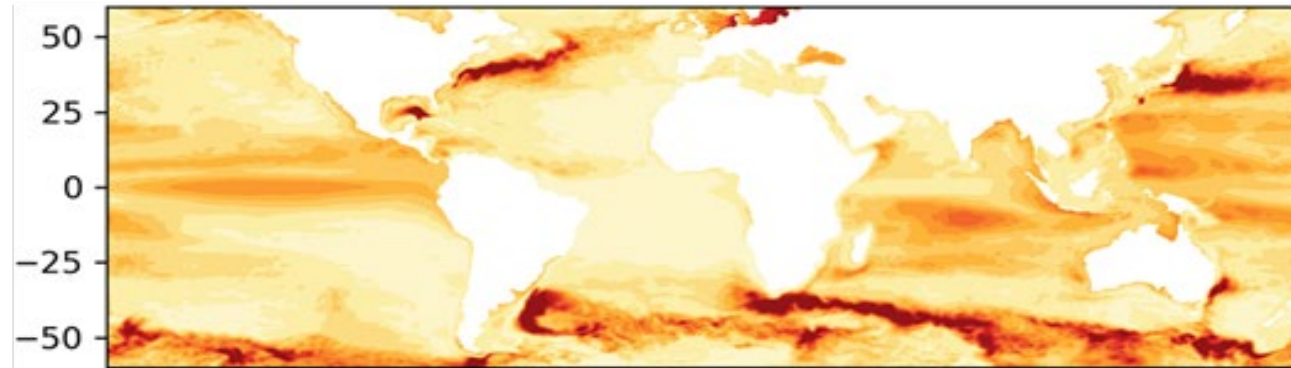


Energy and
Enstrophy
conservative
Coriolis

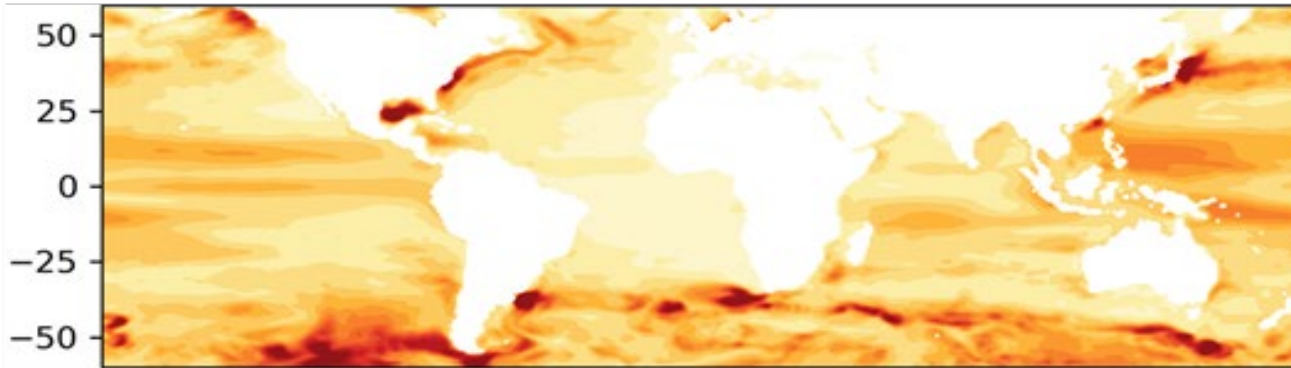


Mean Sea Level RMS (cm). CORE-II protocol

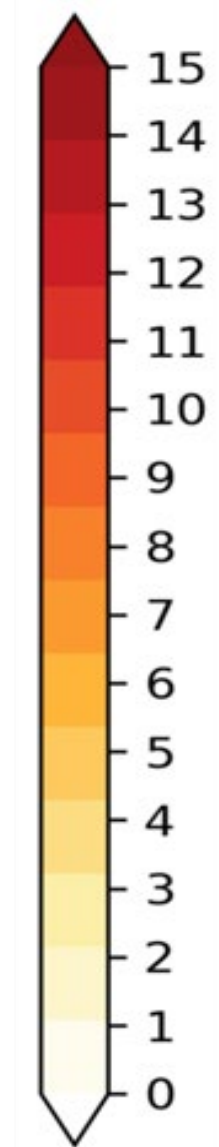
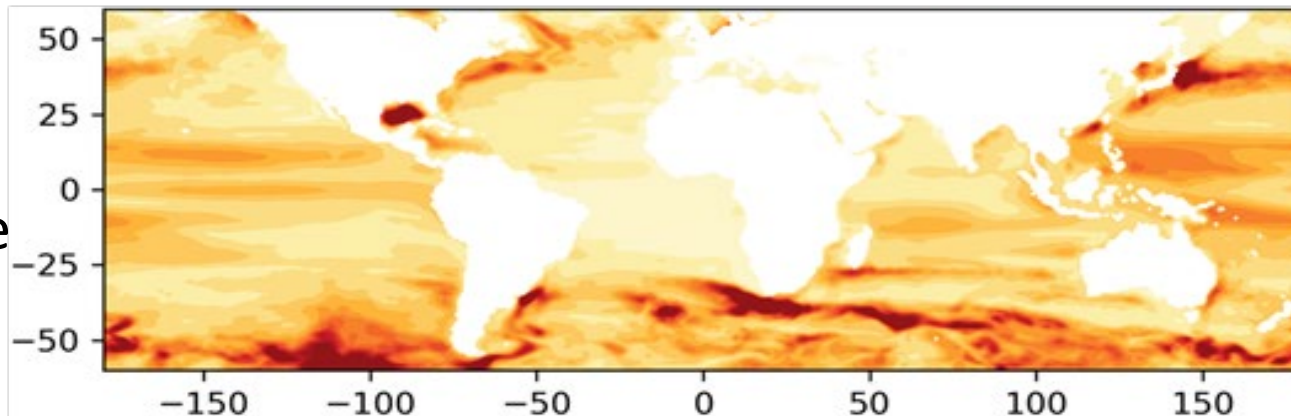
ORAS5
reanalysis



Old Coriolis –
no
Gulfstream!



Energy and
Enstrophy
conservative
Coriolis



The change of model name – the change of model state



In Mom



In Mocean