

Предварительные результаты тестирования новой системы сезонного прогнозирования в Гидрометцентре России



Толстых М.А. (1,2,3)

Фадеев Р.Ю. (1,2,3),

Шашкин В.В. (1,2), Махнорылова С.В. (2)

(1) Инст. Вычисл. Математики им. Г.И.Марчука РАН

(2) Гидрометцентр России

(3) Московский физико-технический институт



SL-AV global atmosphere model (1)



SL-AV: **S**emi-**L**agrangian, based on **A**bsolute **V**orticity equation

- **Finite-difference semi-implicit semi-Lagrangian** dynamical core of own development. Vorticity-divergence formulation, unstaggered grid (Z grid), 4th order finite differences, variable resolution in latitude, possibility to use **reduced lat-lon grid** (Tolstykh et.al., Geosci.Mod.Dev., 2017).
- The model can run at 9072 cores with 63 % efficiency (at 13608 cores with 52 % efficiency).

Современная версия модели ПЛАТОН



- Многие алгоритмы параметризаций разработаны консорциумом ALADIN/ALARO.
- Параметризации коротко- и длинноволновой радиации: CLIRAD SW + RRTMG LW.
- Многослойная модель почвы ИВМ РАН (Volodin, Lykossov, Izv. RAN 1998).
- Параметризация морских подынверсионных облаков

Текущие приложения модели ПЛАВ:



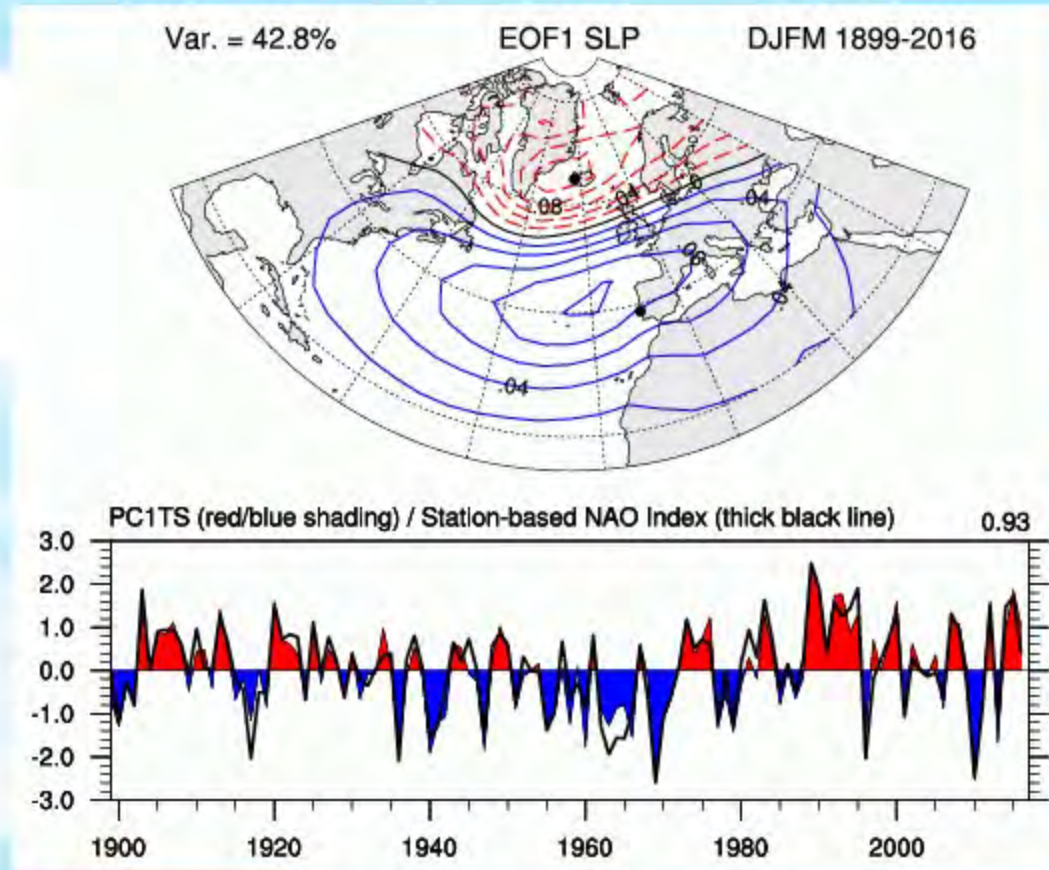
- Среднесрочный оперативный прогноз в ГМЦ;
- Сезонный прогноз в ГМЦ (старая версия).
- Краткосрочный прогноз в СибНИГМИ.
- Еженедельный прогноз на 60 дней (S2S Prediction project, WMO) – старая версия



Источники предсказуемости долгосрочных прогнозов (Vitart, 2012)

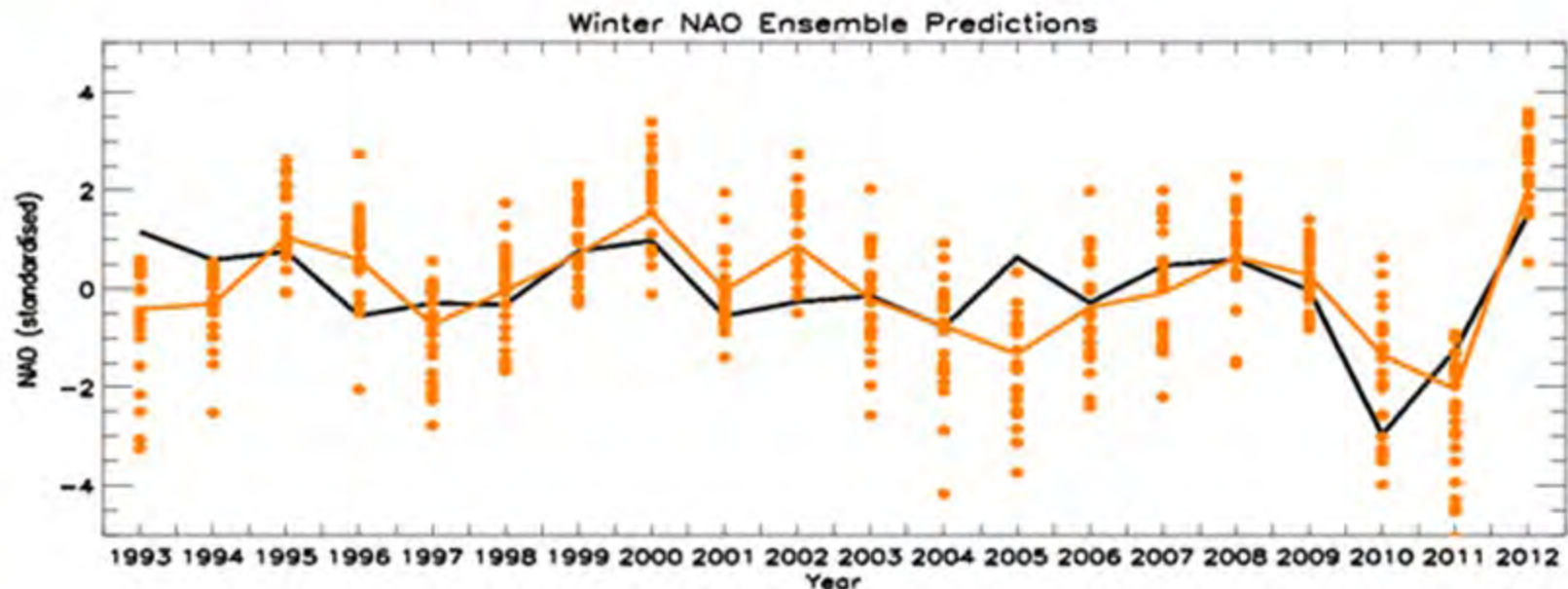
- Температура поверхности океана
- Условия на поверхности суши (температура поверхности, снежный покров, характеристики растительности, землепользование, альbedo)
- Колебание Мэддена-Джулиана (MJO)
- Северо-Атлантическое колебание – Арктическая осцилляция (NAO)
- Стратосферная изменчивость (внезапные стратосферные потепления, квазидвухлетнее колебание, ...)
- Морской лед, его толщина
- Эль-Ниньо – Южное колебание

North-Atlantic Oscillation index



Winter index is relatively predictable by the models !

Зимние прогнозы САК в МетОфисе (А.Scaife)

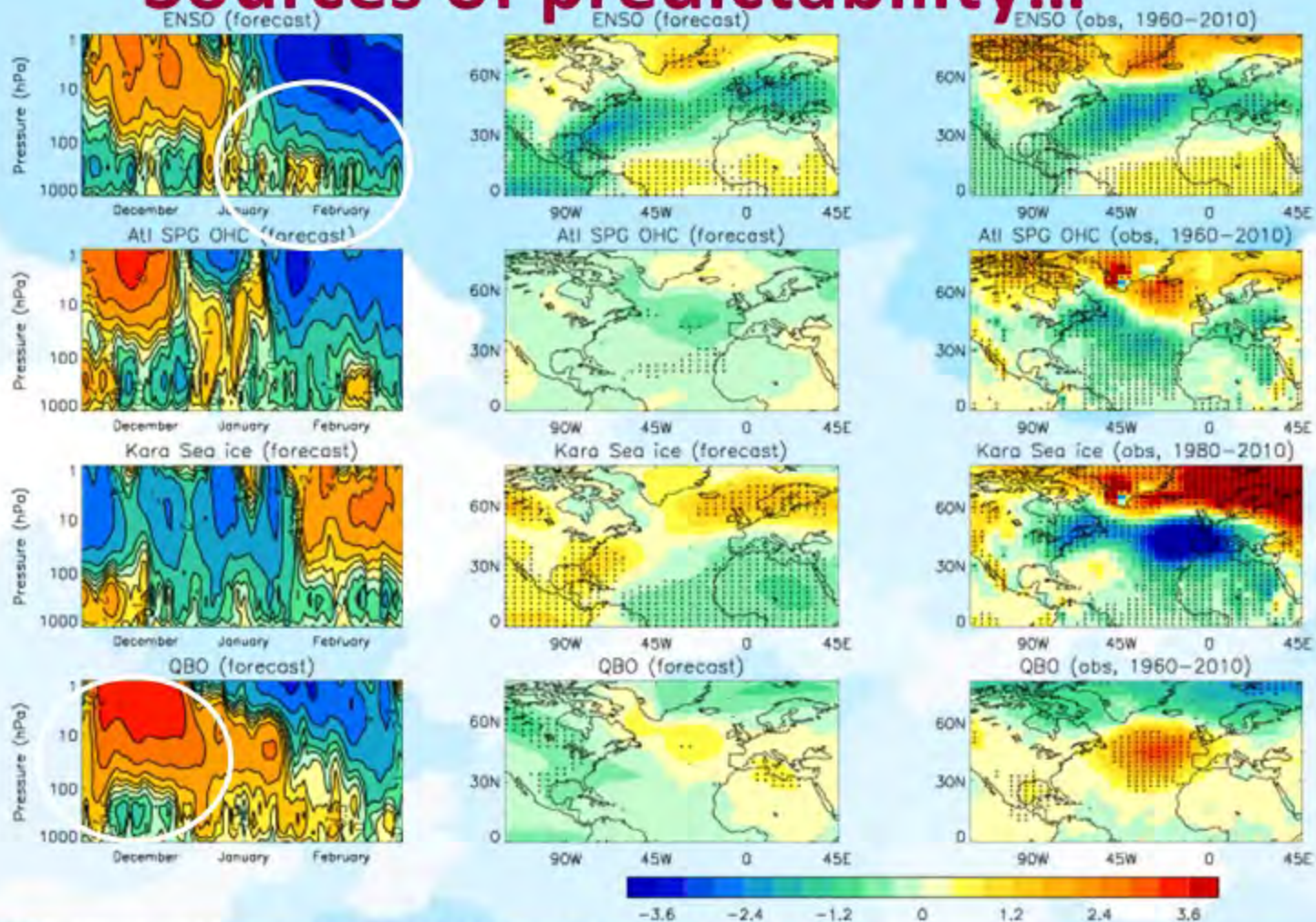


Correlation score = 0.62

Extended to 20 years and 24 members for DJF

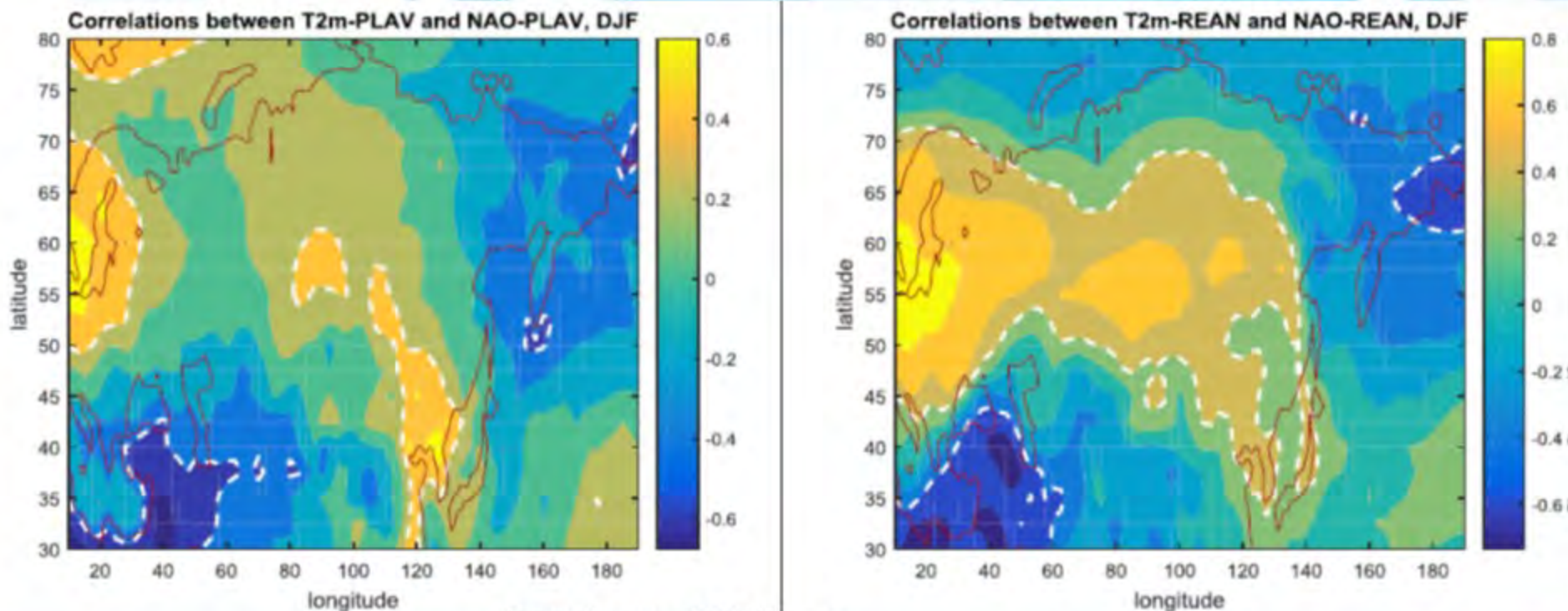
Еще 8-10 лет назад корреляция ни у кого не превышала 0.3 !

Sources of predictability...



Strongest minus weakest cases for November predictors:
ENSO, Atlantic Ocean, Kara sea-ice and Quasi Biennial Oscillation
Response is weaker in model than obs

Correlations of winter NAO index and T2m: old SL-AV model (left) and NCEP/NCAR2 reanalysis (right)



Courtesy of V.Khan

Making NAO forecast better would provide practically useful winter T2m seasonal forecast over significant part of Russia

Старая и новая система долгосрочного прогноза ГМЦ

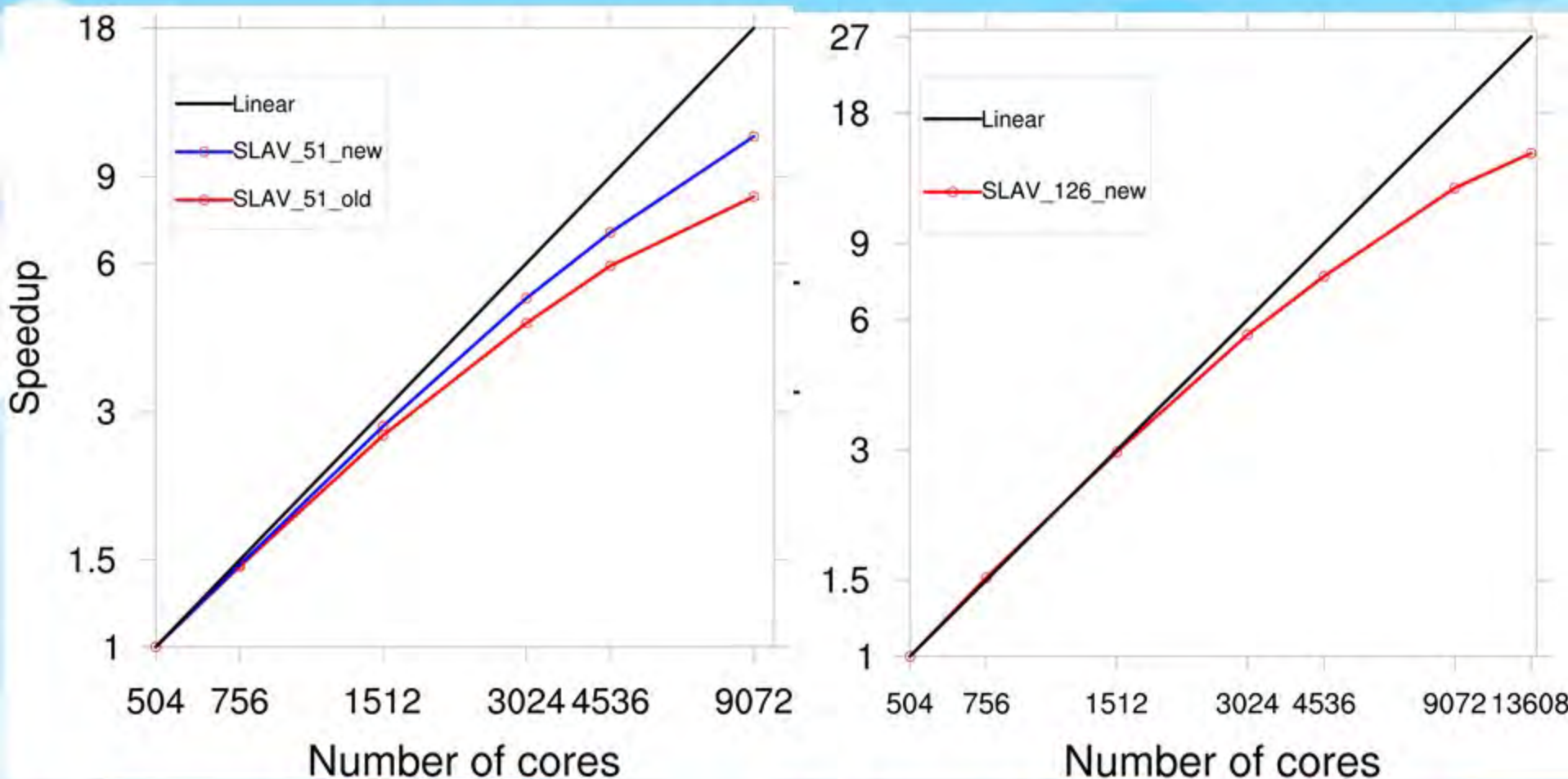
ПЛАВ 2008

- Разрешение $1,4 \times 1,125^\circ$, 28 уровней
- Верхний уровень 5 гПа
- Шаг по вертикали в стратосфере 1.5-3 км
- КВ и ДВ радиация Ritter, Geleyn 1992 (1+1 диапазон)
- Погранслои – улучшенный вариант Geleyn 1982
- 40 мин. на 8 ядрах Cray XC40

ПЛАВ2015

- Разрешение $0,9 \times 0,72^\circ$, 96 уровней
- Верхний уровень 0,04 гПа
- Шаг по вертикали в стратосфере 500-700 м
- КВ радиация CLIRAD SW, ДВ радиация RRTMG LW (11 + 16 спектр. диапазонов)
- Погранслои Bastak-Duran et al JAS 2014
- 40 мин на 480 ядрах Cray XC40

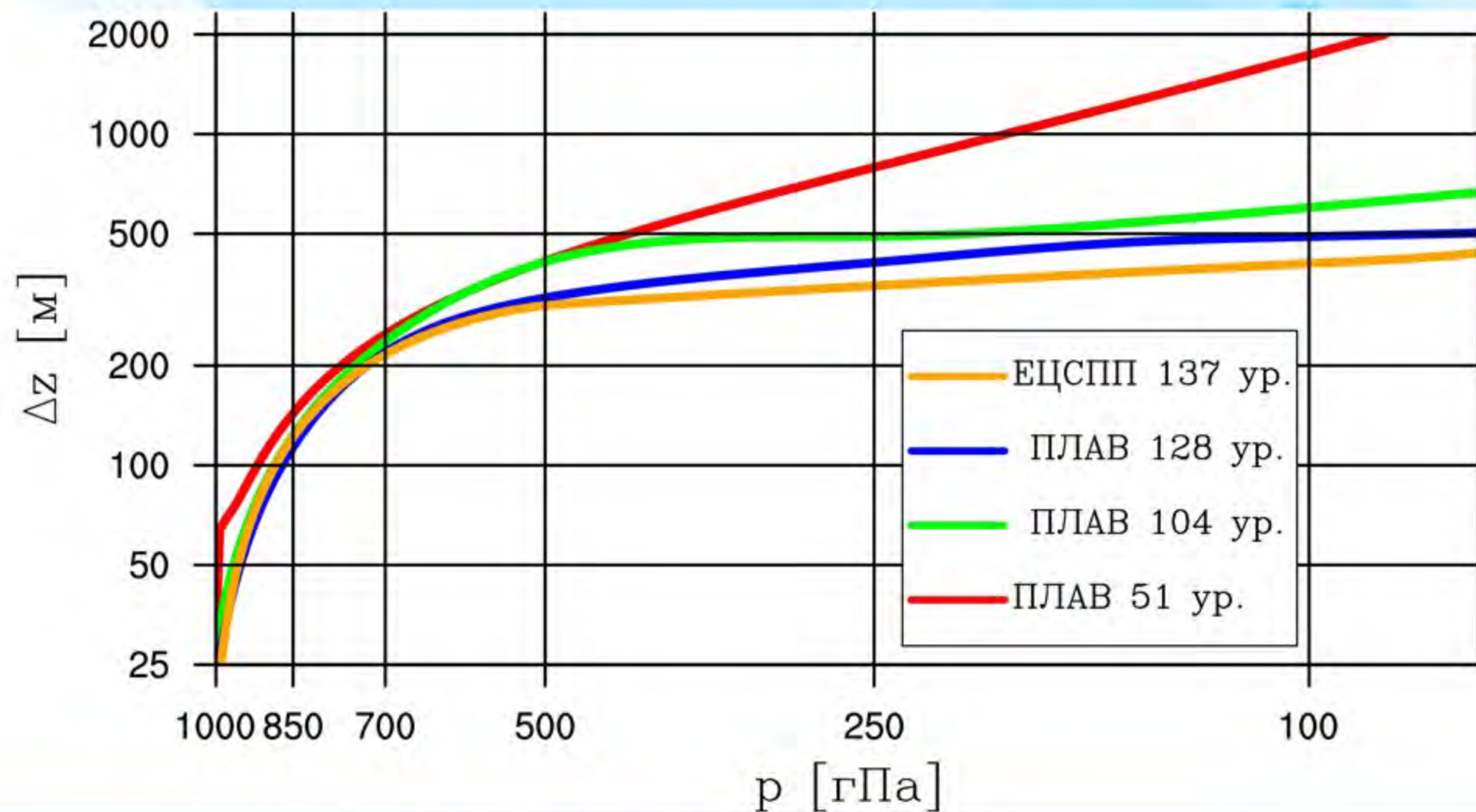
Ускорение модели ПЛАВ на Cray XC40 по отношению к времени расчета на 504 ядрах



Сетка по горизонтали 3024x1513 (~13 км). Слева – 51 уровень по вертикали (версии 2016 и 2018 г), справа – 126 уровней. Эффективность (126 ур): 63 % на 9072 ядрах, 53% на 13608. New – версия 2018 г, old – 2016 г

Разрешение по вертикали [м] для сетки 104 уровня, перспективной сетки 128 уровней.

Также показаны сетка ЕЦСПП, опер. сетка 51 уровень



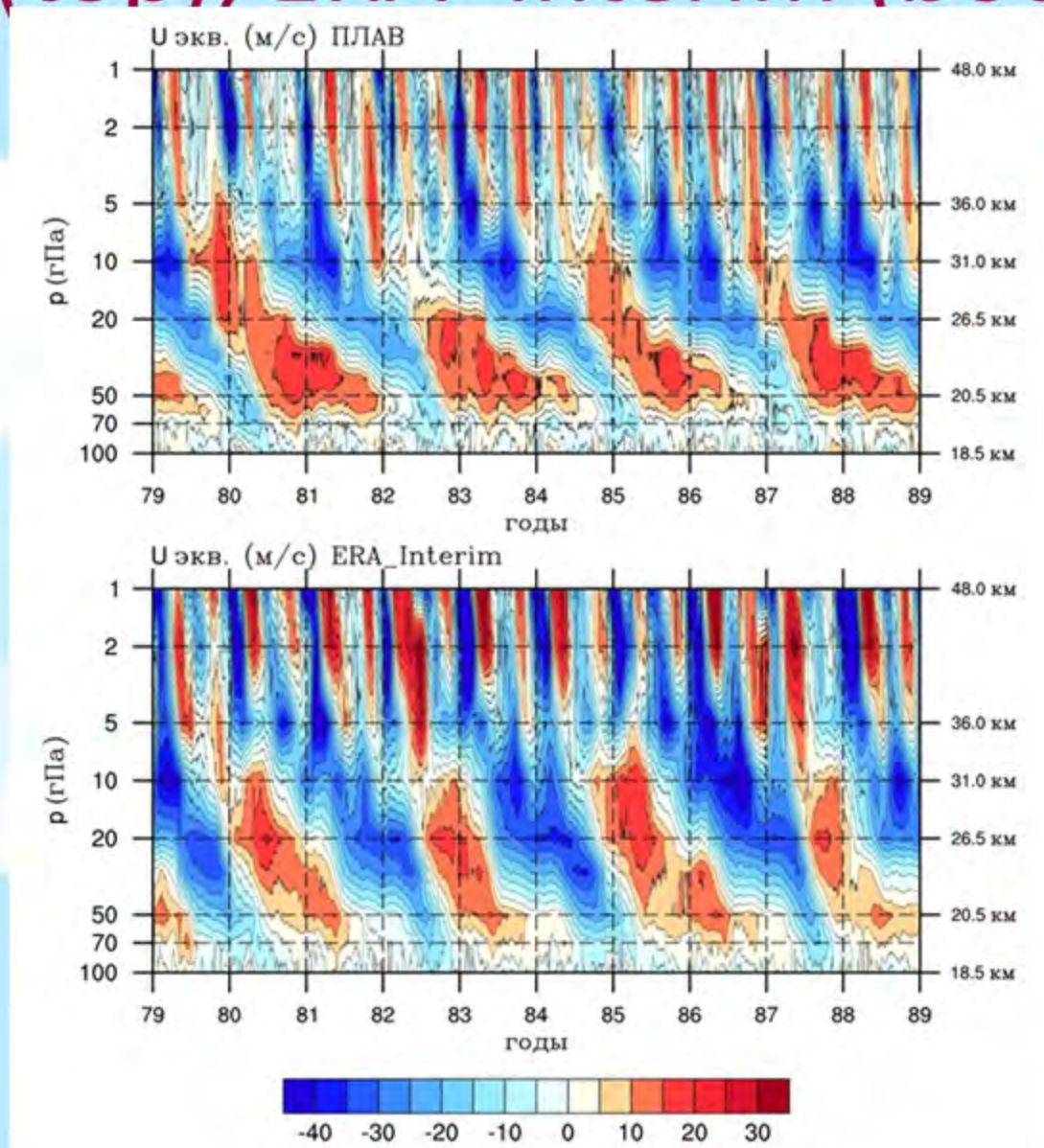
Сравнение абс. ошибок T2м при исп. старой и новой параметризации погранслоя. Среднее для прогнозов за январь 2015 г., прогнозы от 12ч ВСВ

	Европа 12	Европа 24	Сибирь 12	Сибирь 24	Азия 12	Азия 24
старая	2.69	2.48	4.13	3.56	3.78	3.36
новая	2.61	2.32	3.93	3.07	3.35	2.96

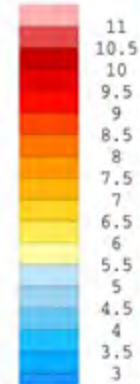
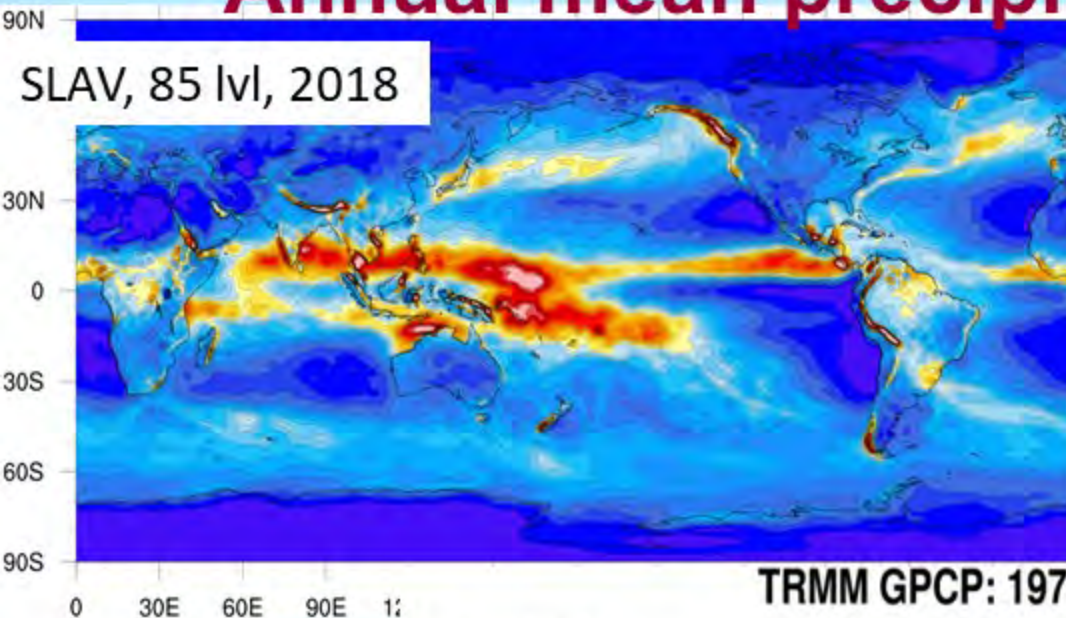
Старая параметризация: Geleyn J-F, Vána F, Cedilnik J, Tudor M and Catry B 2006 An intermediate solution between diagnostic exchange coefficients and prognostic TKE methods for vertical turbulent transport, In: CAS/JSC WGNE “Blue Book” : Res. Act. in Atm. and Oc. Mod., ed. J. Côté P 4.11–4.12.

Новая параметризация: Bašták Ľurán I, Geleyn J-F and Vána F 2014 A compact model for the stability dependency of TKE production–destruction–conversion terms valid for the whole range of Richardson numbers *J. Atmos. Sci.* 71 3004–3026

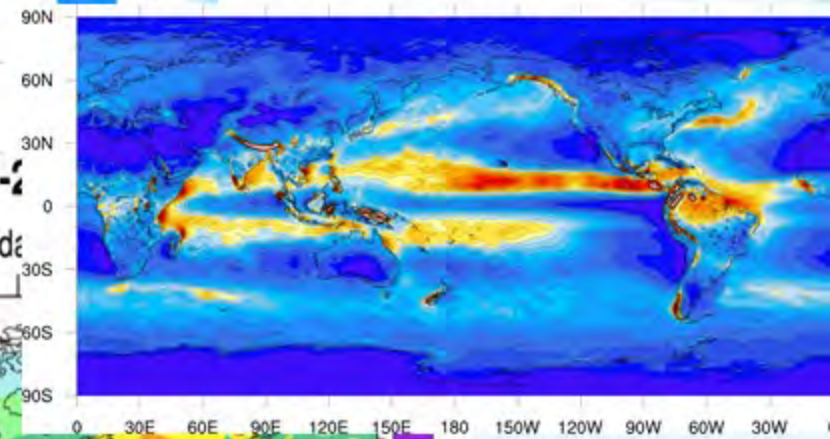
QBO. U at equator, 1979-1989: SL-AB model (top), ERA Interim (bottom)



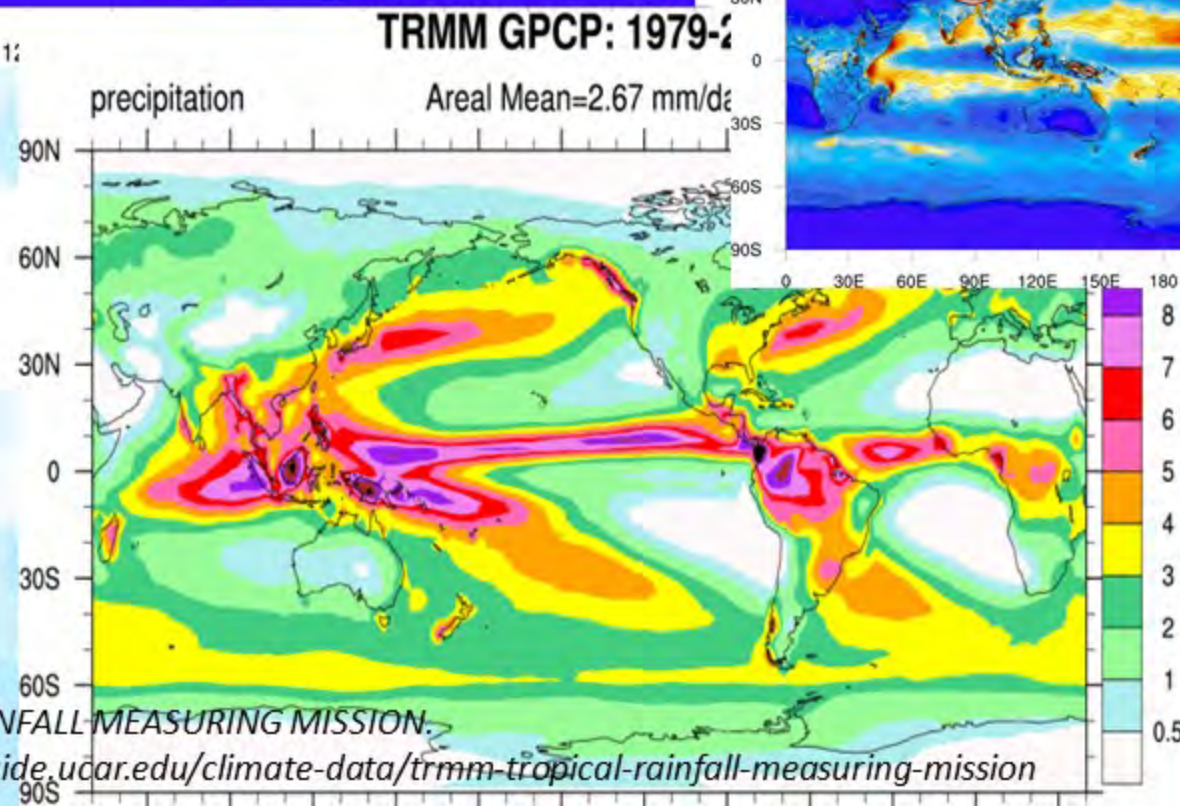
Annual mean precipitation (mm/day)



SLAV, 28 lvl, 2016



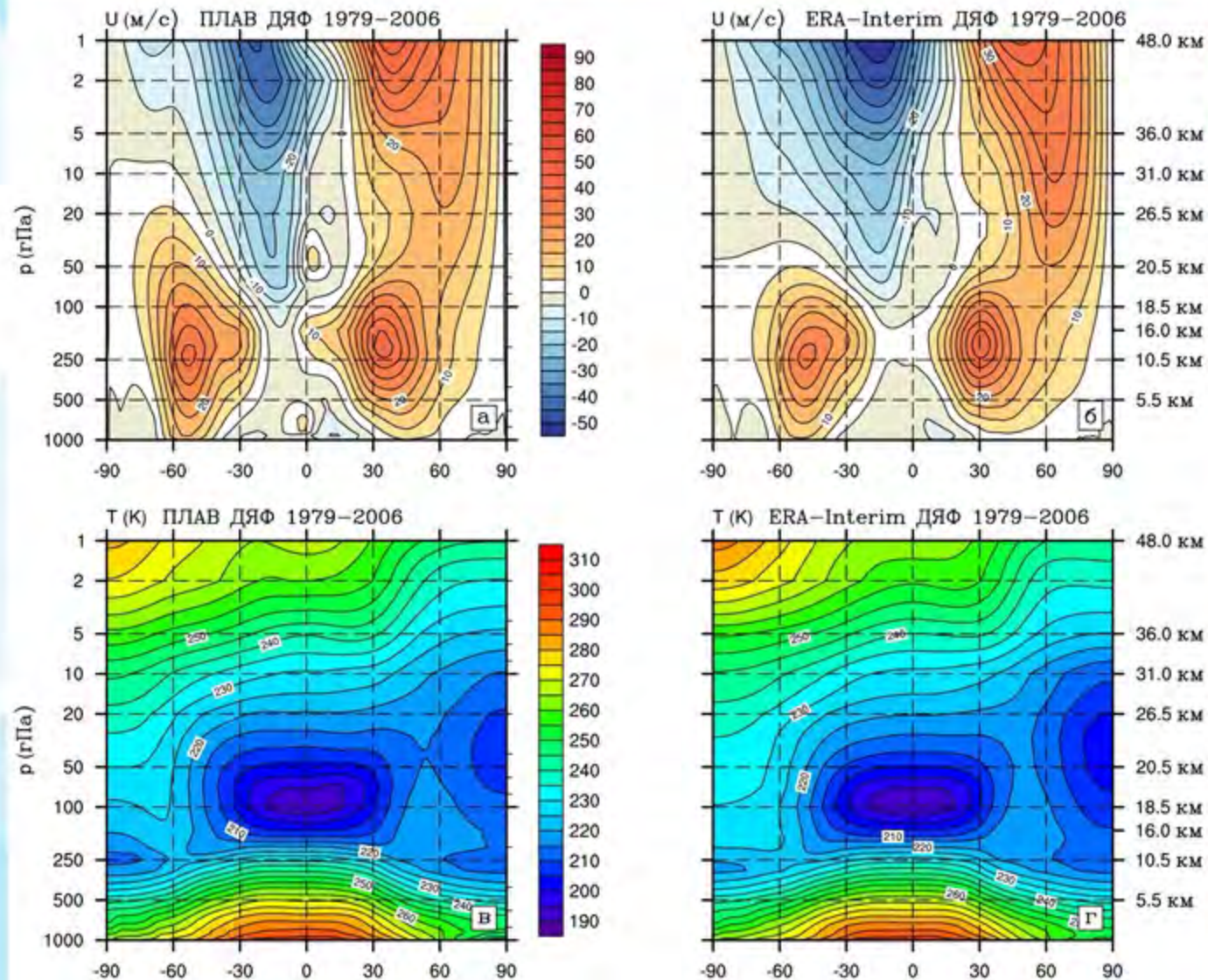
Obs GPCP
TRMM
(1979-2010)



TRMM: TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION.

<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/trmm-tropical-rainfall-measuring-mission>

Zonal mean U and T (DJF, 1979-2006), SL-AV (left), ERA-Interim (right)

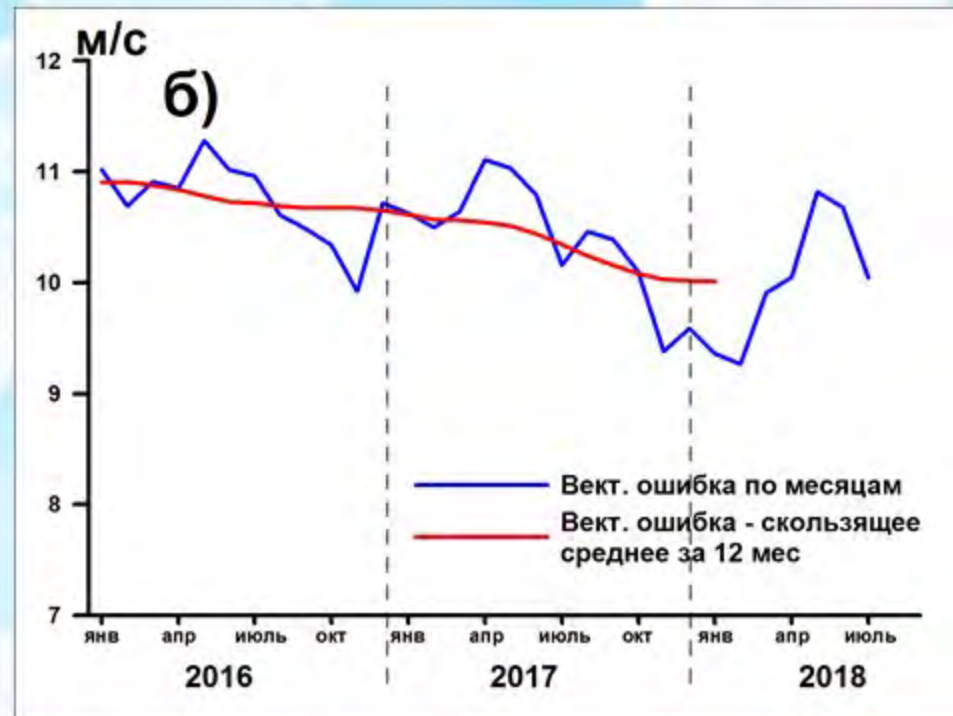
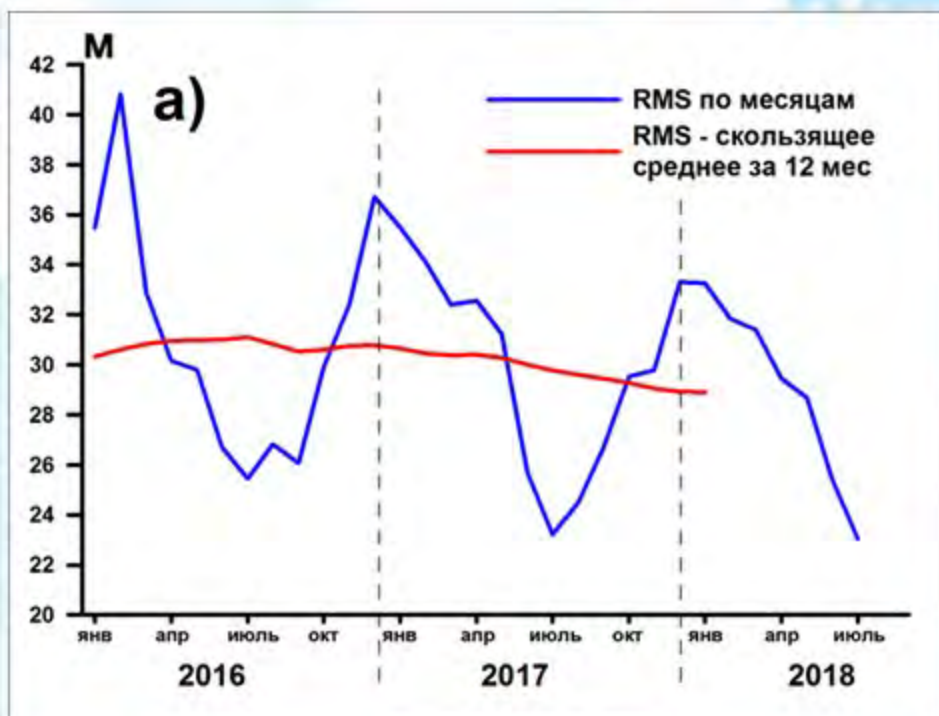


Улучшения в модельном климате (проверенное на низком разрешении) **уменьшили ошибки среднесрочного прогноза**

Оперативная версия модели: разрешение по долготе $0,225^\circ$, по широте меняется от $0,16^\circ$ в Сев. Полуш. до $0,245^\circ$ в Юж. полушарии, 51 уровень по вертикали

<https://apps.ecmwf.int/wmolcdnv/>

Уменьшение среднекв. ошибки прогноза ПЛАВ20 (01.2016-07.2018). Н500 на 72 ч (слева), W250 на 72 ч (справа)



Уменьшение ошибки Н500 RMS: ~2,3 м (24ч), 2,5м (72ч), W250 RMS error: ~0,6 м/с (24ч), 0.8 м/с (72 ч). Отставание ПЛАВ20 от основной группы центров: ~1.2 м/с W250 на 72ч, ~4,5 м в Н500 на 72ч

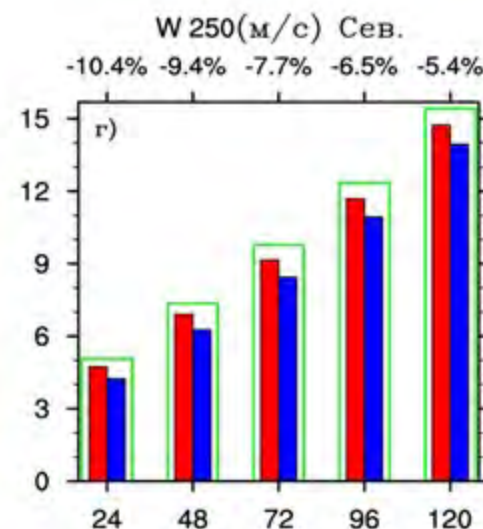
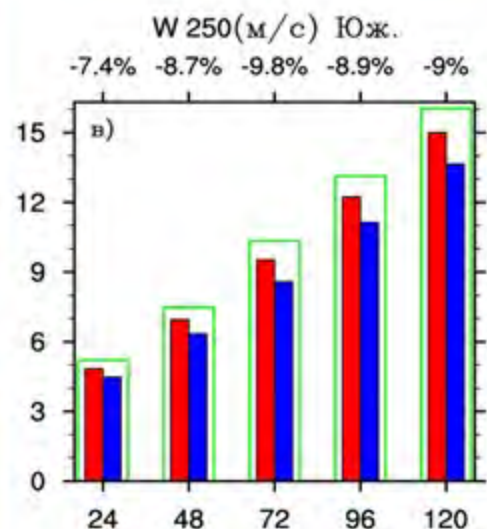
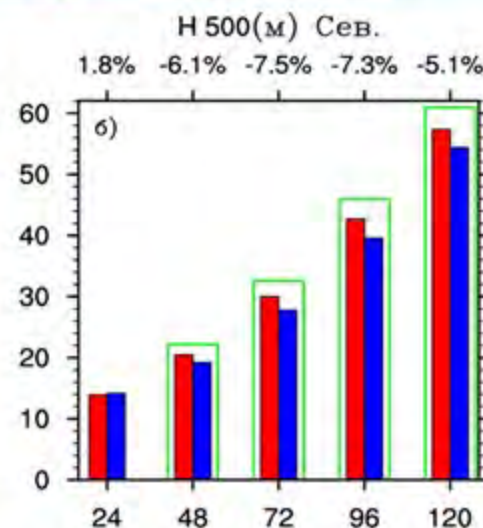
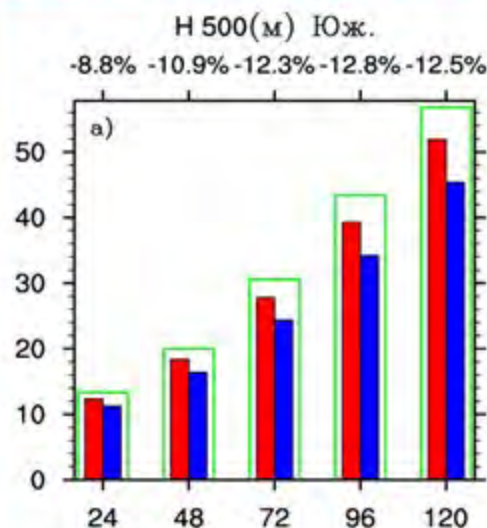
Влияние качества начальных данных в свободной атмосфере на ошибки прогноза модели ПЛАВ20

- Oper analysis = оперативный анализ Гидрометцентра на сетке 0,5 градусов. Рассчитывается с исп. 6-часовых прогнозов NCEP, использует статистику ошибок модели NCEP. Технология 3D Var. OpenMP (макс. 36 проц. ядер)
- ECMWF analysis = оперативный анализ ЕЦСПП с закруглением разрешения до 0,25 градусов. Технология En-4D Var. MPI+OpenMP (O(1000) ядер) (доступен в рамках Года полярного прогнозирования).

Сравнение среднекв. ошибок среднесрочных прогнозов ПЛАВ20 по нач. данным в свободной атмосфере Гидрометцентра и ЕЦСПП

(Юж. полуш. – слева, Сев. полуш. – справа; H500 сверху, W250 снизу). Зеленые рамки обозначают 95% стат. значимость с учетом автокорреляции

Уменьшение ошибки прогноза на 72 часа:
геопотенциал – 2-4 м,
модуль скорости ветра – 0,8 м/с.



Coupled model components

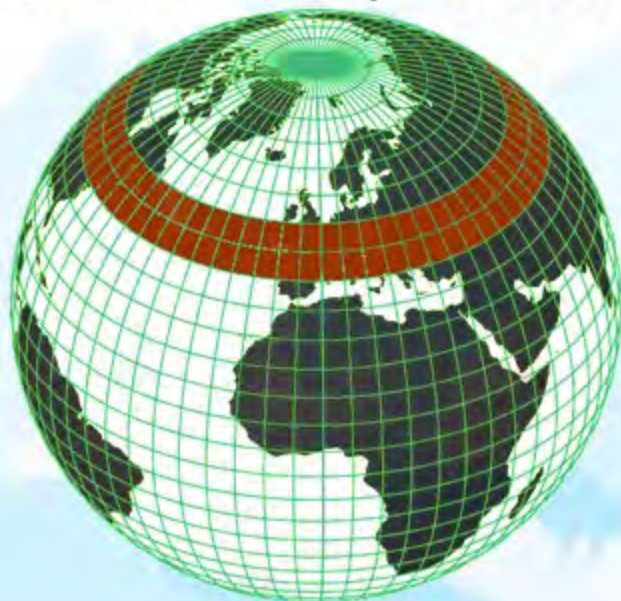
SLAV atmosphere model

$0.9^\circ \times 0.72^\circ$ (400x250), **85** levels.

$\Delta t = 1440$ s.

Lat-Lon, 1D MPI decomposition.

* includes multilayer soil model.

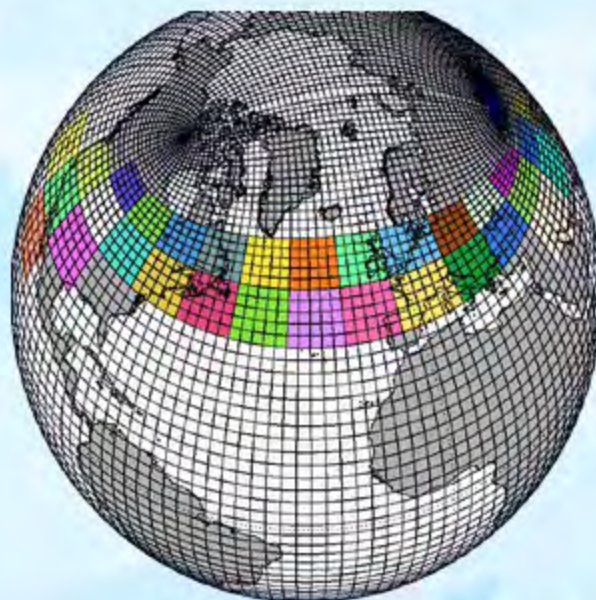


INMIO World ocean model

$0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (720x360), 49 levels.

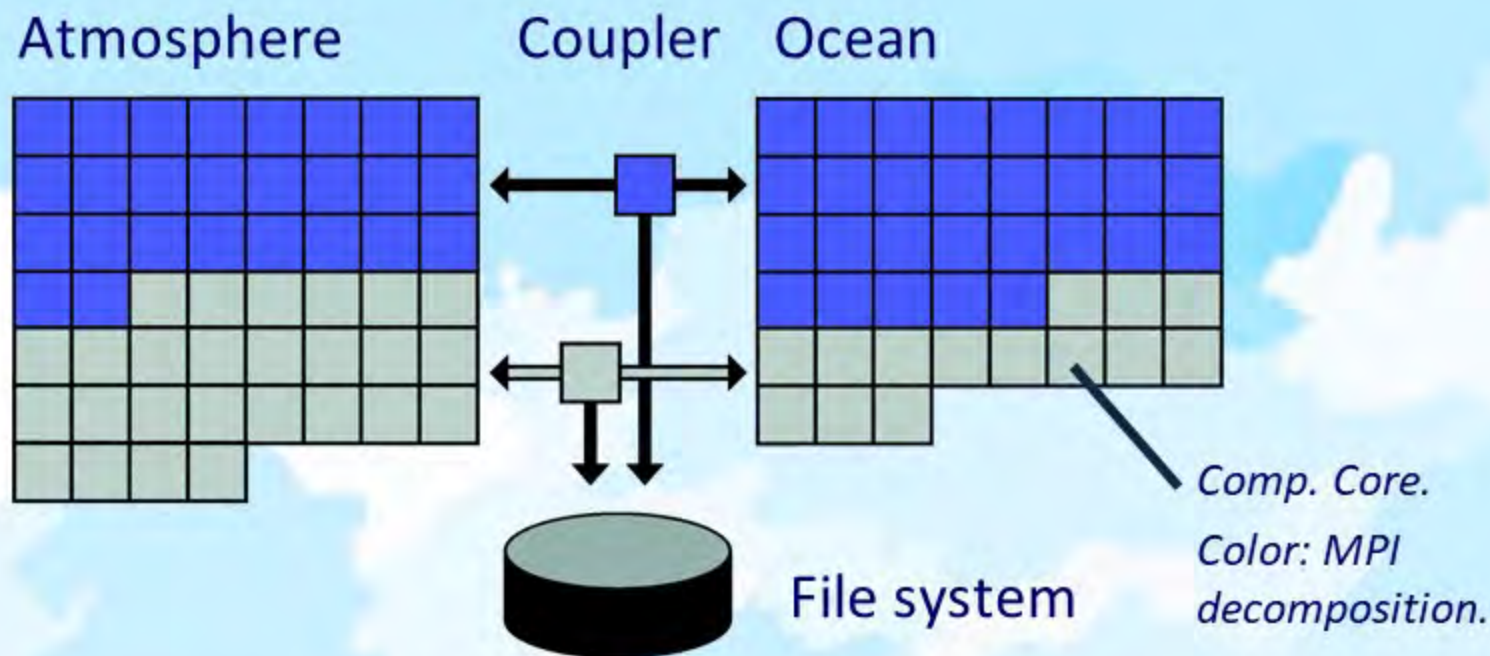
$\Delta t = 600$ s.

Tri-polar grid, 2D MPI decomposition.



*Tolstykh et al, GMD, 2017;
Ibrayev et al, Izv AOP, 2012;
Fadeev et al, RJNAMM, 2016.*

Coupled model structure



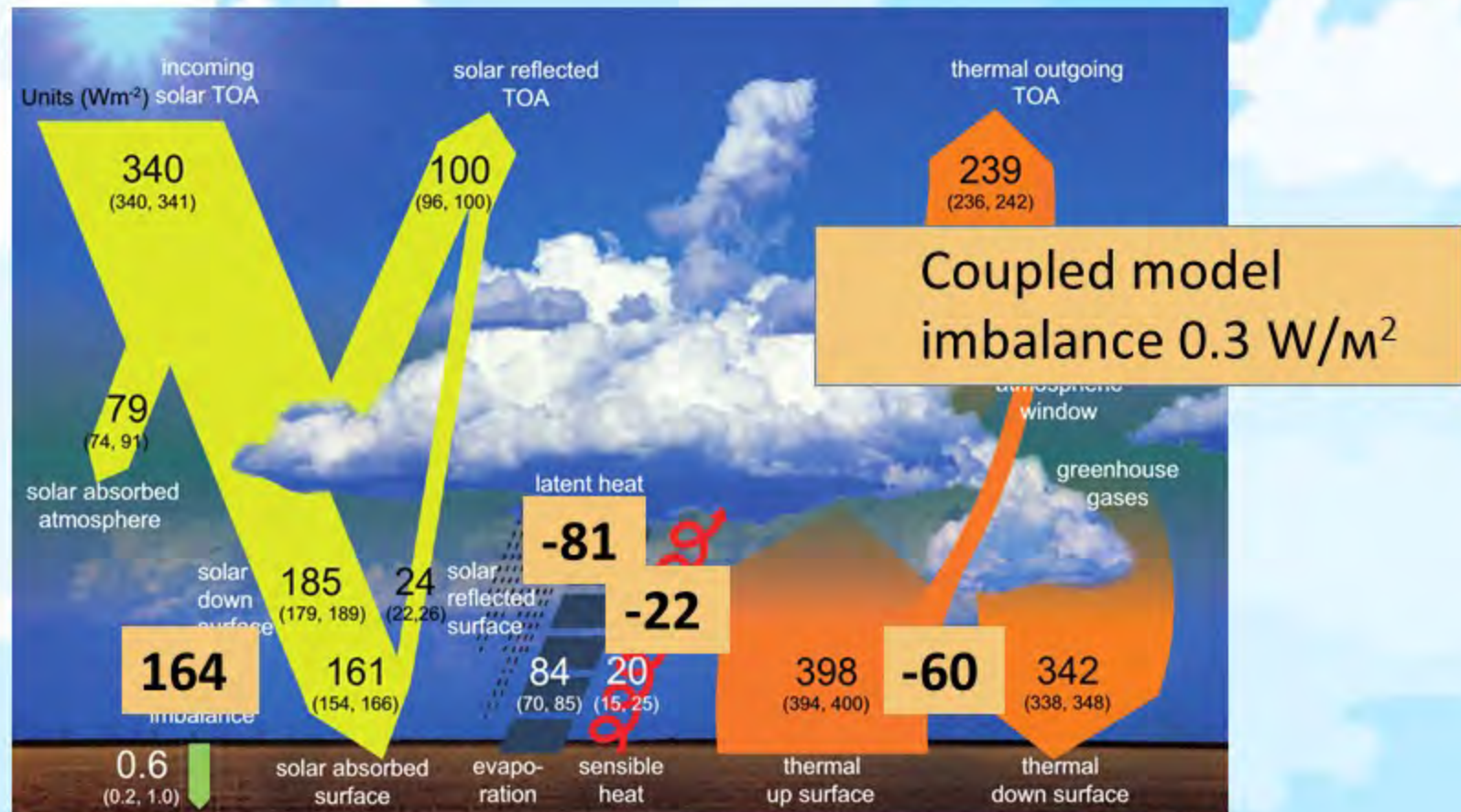
Coupler: synchronize the components, transfer (with interpolation) data between them, works with file system.

Data flow: 9 fields from atm to ocean every 2 hour,
3 fields from ocean to atm every 4 hour.

Efficiency: 2 years/day on 258 cores (ATM 125, OCN 132, CPL 1).

Global mean energy budget (W/m^2)

The genesis and evolution of Earth's climate is largely regulated by the global energy balance and its spatial and temporal variations.



Global mean energy budget (W/m²) in the coupled model

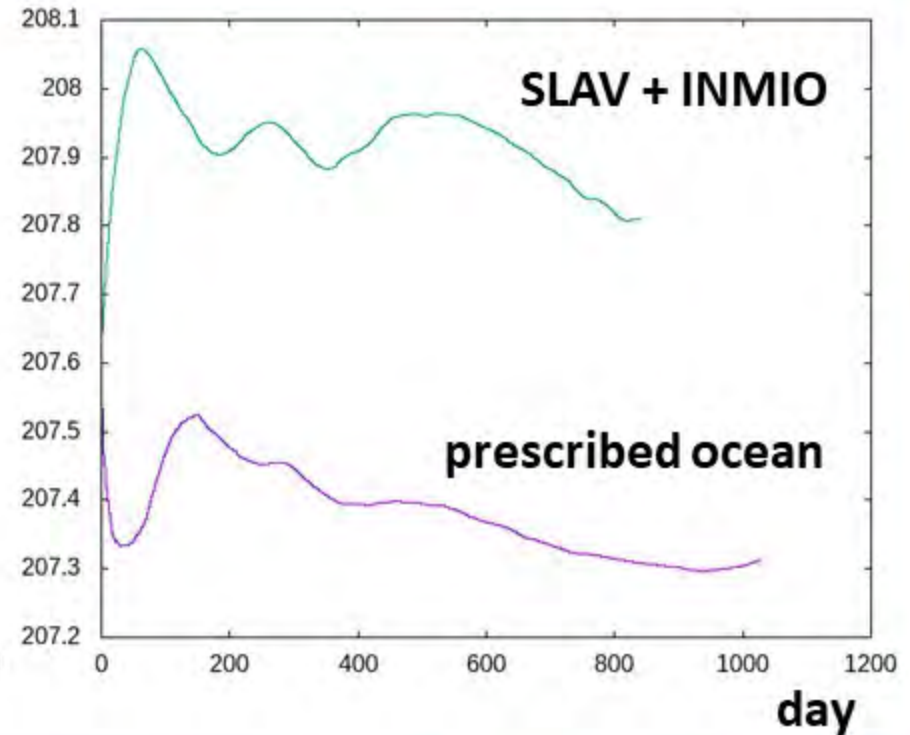
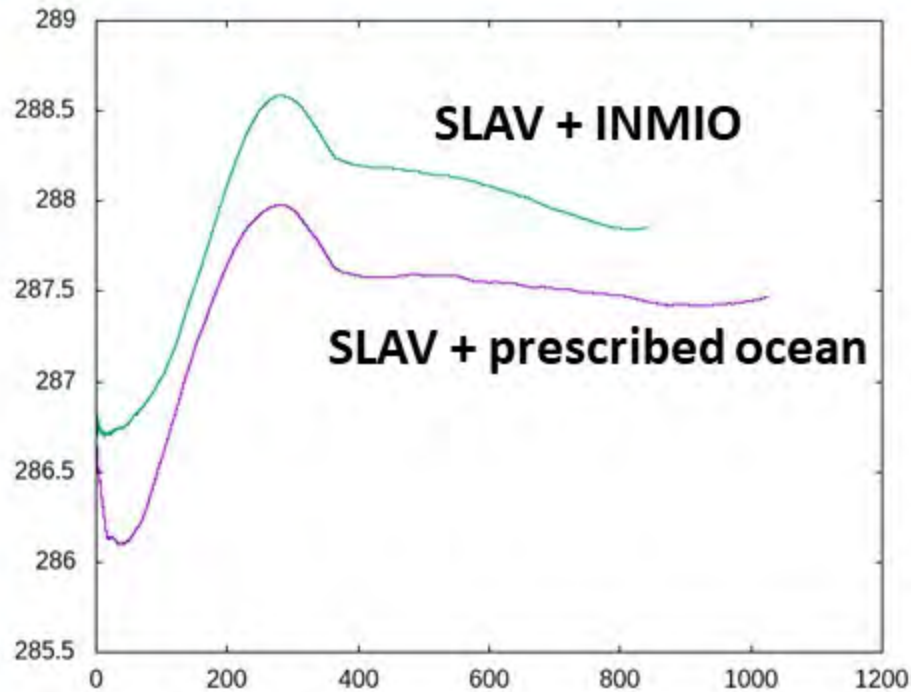
item	IPCC data (range, absolute values), W/m ²	IPCC data (recommended values), W/m ²	Prescribed ocean experiment, W/m ²	Coupled model experiment, W/m ²
Top incoming short-wave radiation	340-:-341	341.3	341.6	341.6
Top outgoing short-wave radiation	96-:-100	100	109.3	107.1
Top outgoing long-wave radiation	-(236-:-242)	-239	-232.4	-234.6
Surface downward solar radiation	154-:-166	161	163.7	164,3
Surface long-wave radiation balance	-(54-:-58)	-56	-60.0	-60.7
Surface sensible heat flux	-(15-:-25)	-20	-22.3	-22.1
Surface latent heat flux	-(70-:-85)	-84	-82.1	-81.2
Imbalance	-	1	0.1	0.3

ПЛАВ в рамках совместной модели на Cray XC40

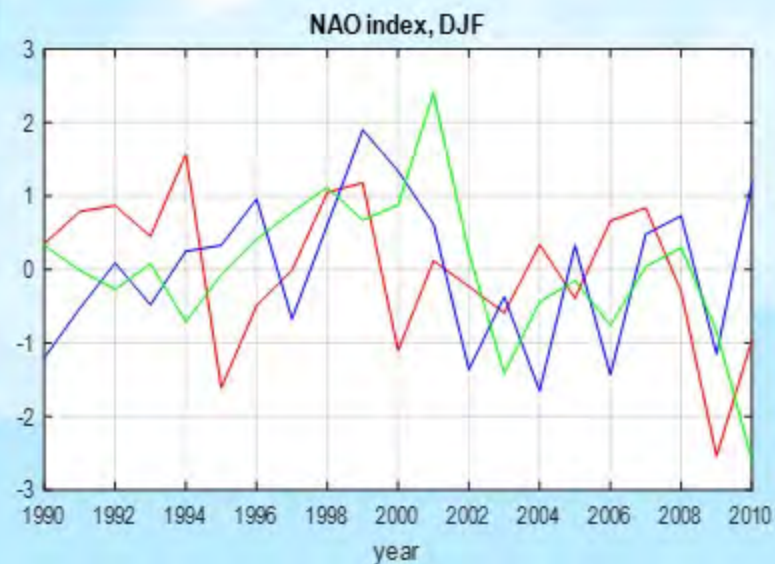
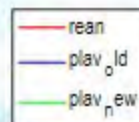
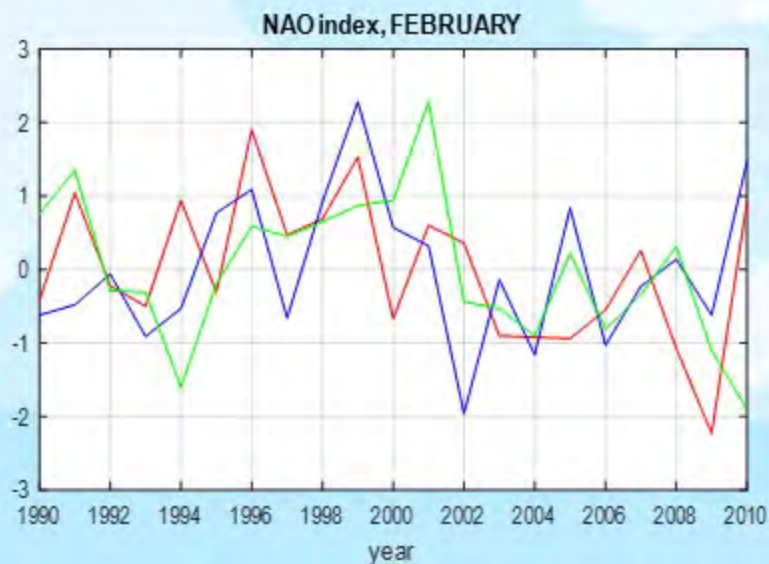
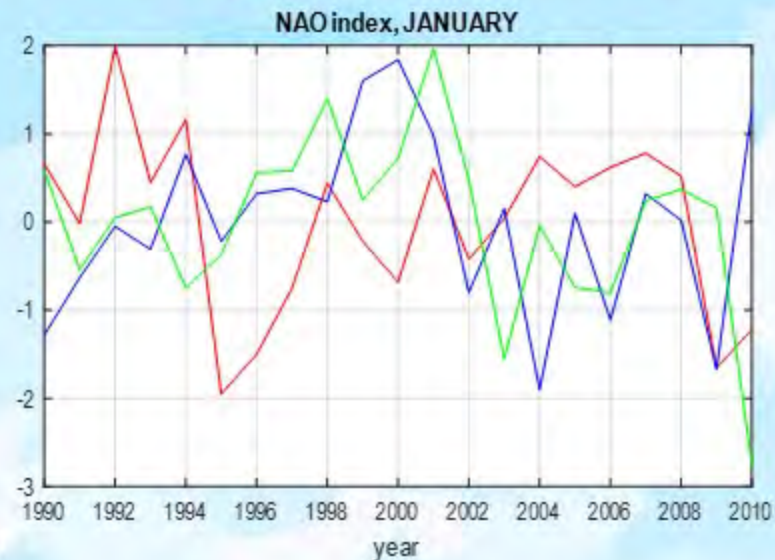
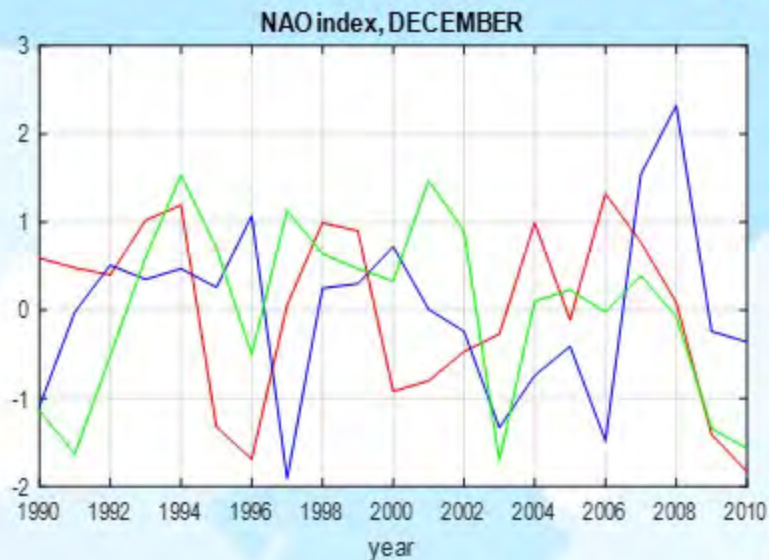
атмосфера 0.9x0.72 (400x250, около **100 км**), ~**100** уровней, шаг по времени 1440 с; океан **0.5, 49** уровней; CICE 0.25 1 уровень

- Паралл. конфигурация: атм - 500 (125 MPI x 4 OMP); океан – 128; лед – 32; каплер – 1 проц. ядро
- производительность (Cray XC40): 661 ядро, 9.1 года за сутки (компилятор Интел)
- на **100 ядрах около 1.4 года за сутки.**
- IFS-LW (low resolution): атмосфера Tco199 (около **50 км**, редуцированная сетка), **91** уровень, шаг по времени 1800
- океан **ORCA1, 75** уровней, триполярная, у экватора около 0.3 градуса; лед LIM2 ORCA1, 2 категории, 3 уровня; OASIS
- производительность (Cray XC40): **96 ядер, 1.9 года за сутки**

Global mean surface temperature (left), SST (right).



Сравнение старой и новой сезонной модели: индекс САК



Сравнение коэфф. корр. аном прогноза индекса САК старой и новой версии модели ПЛАВ

	December	January	February	DJF
Заблаговременность	1 month	2 months	3 months	1 month
ПЛАВ старый	-0.08	-0.08	0.39	0.039
Заблаговременность	1 month	2 months	3 months	1 month
ПЛАВ новый	0.27	0.14	0.27	0.24

Выводы

- Новая версия модели ПЛАВ воспроизводит основные характеристики реальной атмосферы
- Улучшения климата модели позволили уменьшить ошибки среднесрочных прогнозов погоды.
- Реализована совместная модель атмосферы, океана и морского льда, которая в целом показывает адекватное воспроизведение климата
- =====
- Предполагается внедрить новую версию в ближайшие месяцы

Спасибо за внимание!

<http://nwplab.inm.ras.ru>