



Совместная модель ПЛАВ-НЕМО-SIZ

Фадеев Ростислав Юрьевич
Ю.Д. Реснянский, Б.С. Струков, А.А. Зеленко,
И.Н. Смирнов, К.П. Беляев, А.А. Кулешов

ИВМ РАН, Гидрометцентр России,
ИПМ РАН, МГУ

e-mail: rost.fadeev@gmail.com

26.09.2023, RSD

Совместная модель атмосферы, деятельного слоя суши, океана и морского льда.

Coupled model – является стандартной технологией для моделирования изменений климата Земли и долгосрочного прогноза аномалий погоды.

Модель атмосферы



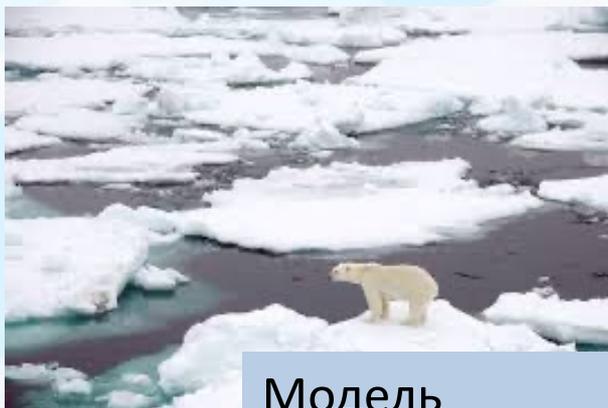
Модель Мирового океана



Модель поверхности суши и почвы



Модель морского льда



Глобальные модели среднесрочного прогноза погоды

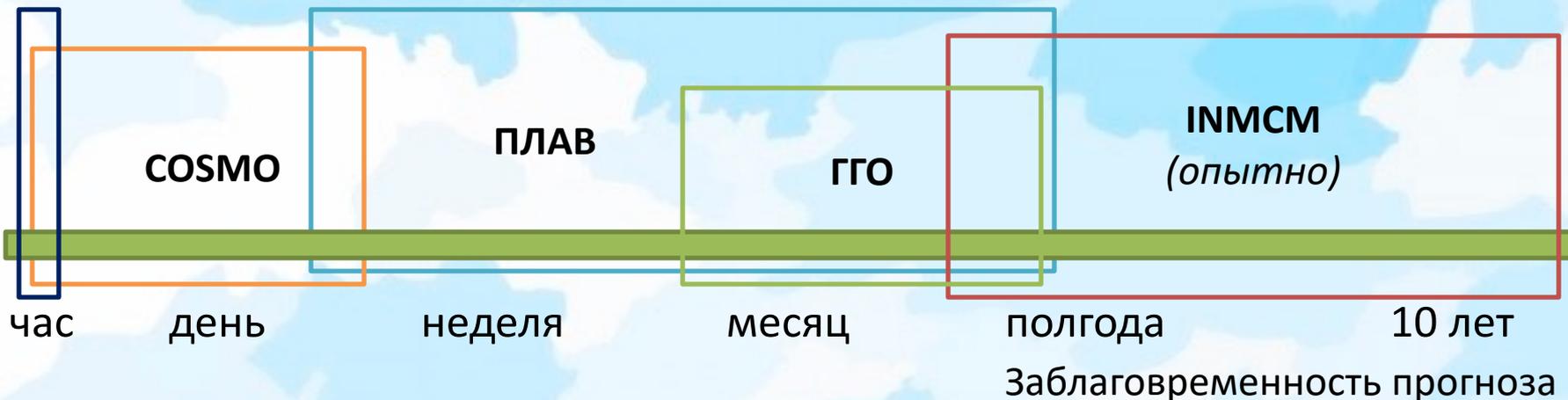
Характерное разрешение: 7-25 км., 50-137 уровней по вертикали, $\sim 10^9$ ячеек сетки.

Forecast Centre	Country	2022	Computer
ECMWF (Europe)	Europe	Coupled O-A 0.25 TCo1279 L137 (~9km)	Bull Sequana XH2000, 1920 nodes x 4 [1PFlop per cluster] [30 PFlops]
Met Office	UK	Coupled O-A oc=0.25L75 10km L70 7days	Cray XC40 3040+3040+6720 nodes [15.5PFlops]
Météo France	France	$\sim T_L 1198c2.2$ L105 (7km on W Europe to 36km)	ATOS BULL Sequana XH2000, AMD Epyc Rome, 2290 nodes x 2, 128 cores/node, (Unknown) [2 x ~ 10.3 PFlops]
DWD	Germany	13 km L90 (6.5 km L60 for Europe)	NEC SX Aurora; 178+232 nodes with 8 Tsubasa 10AE vector engines (VEs) per node, 8 cores per VE (total 11392+14848 cores) SP 200+260 TF; PP 3383+4410 TF
HMC	Russia	$0.225^\circ \times (0.17-0.24)^\circ$ L51	Cray XC40-LC, 976 nodes x 36 cores [1293 TFlops] SGI ICE-X, 36 nodes x 20 cores, (4.3)[14 TFlops] RSC Tornado, 96 nodes x 16 cores, (4.5)[35 TFlops]
NCEP	USA	C768 L127 (13 km)	CRAY EX (336,128 x 2 cores) (?? TFs sust., 12,100 x 2 TFs peak)
Navy/FNMOC/NRL	USA	T681L60	SGI 8600 3.05 PFLOPS FY22: HPE Cary EX 12.8 PFLOPS
CMC	Canada	Yin-Yang ($0.14^\circ \times 0.14^\circ$) L84 coupled atm-ocean-ice	2 x Lenovo SV650 with 1494 nodes (239K cores)
CPTEC/INPE	Brazil	20km L64	CRAY XE 17472 cores (17,6) [256] CRAY XC50 4160 cores (193) [313.5]
JMA	Japan	TL959 L100	CRAY XC50 (Vendor: Hitachi), 2*2816 nodes (?) [2x9,083]
CMA	China	GRAPES(0.25, L90)	Sugon, 98432 cores
KMA	Korea	10km L70	Cray XC40; 2 x 69,696 cores (Unknown) [2X 2.9PFlops]
NCMRWF	India	12.5kmL64	1052 nodes (16 cores per node) (?) [350 TF]
BoM	Australia	12 km L120	Oracle Blade 6000, 576 nodes (12 cores per node)

Прогностические технологии Гидрометцентра России

Оперативность прогноза налагает ограничения на время счета.

Наукастинг
осадков



Краткосрочный,
до 3х дней,
 10^9 и более ячеек,
4000 ядер - 1 час.

Среднесрочный,
от 1 до 10 дней,
 10^8 ячеек,
2000 ядер - 2 часа.

Долгосрочный,
От 2х недель до 6 месяцев,
 10^7 - 10^8 ячеек,
1000 ядер - 12 часов.

Климатический,
от 2х лет

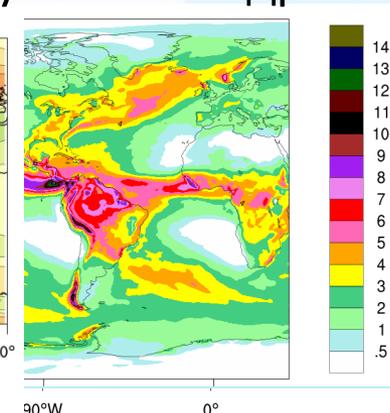
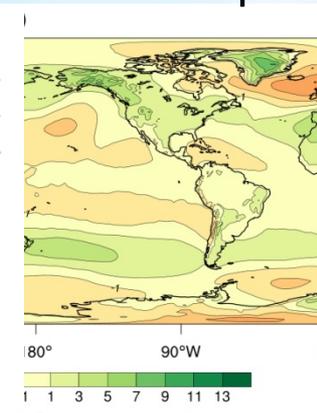
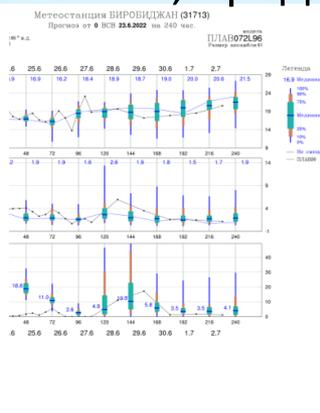
Числа указаны для глобальных моделей, в том числе:

тип и заблаговременность прогноза,

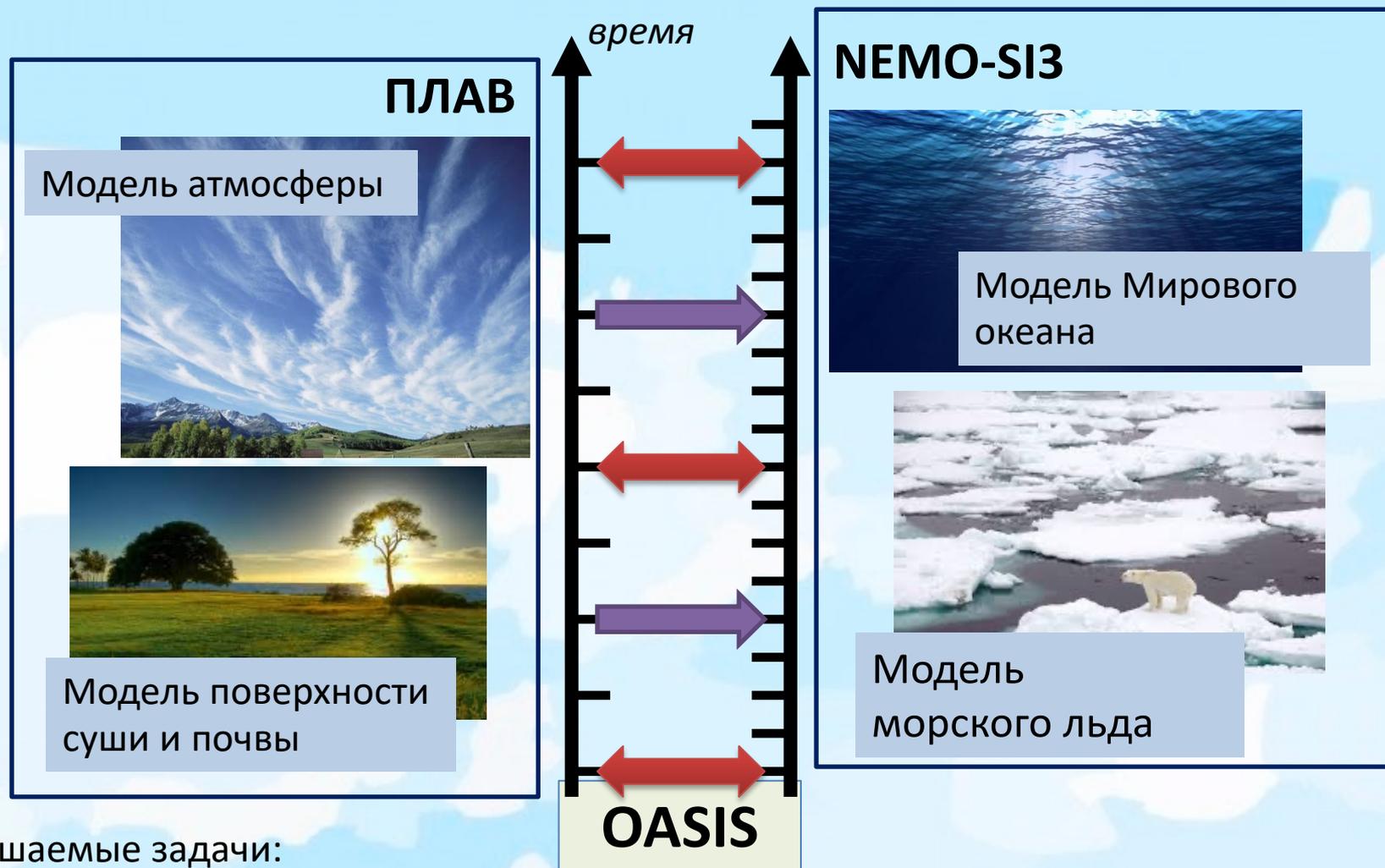
характерная сложность модели, требуемая мощность вычислительной системы и время расчета прогноза.

ПЛАВ – многомасштабное моделирование атмосферы

1. Одна программная реализация, разные конфигурации.
2. Принципиальные конфигурации ПЛАВ:
 - ПЛАВ2008 - долгосрочный прогноз (оперативно);
 - ПЛАВ072L96 - долгосрочный прогноз (опытно);
 - субсезонный прогноз (опытно);
 - ансамблевый среднесрочный (оперативно);
 - ПЛАВ20 - среднесрочный прогноз (оперативно);
 - ПЛАВ10 - среднесрочный прогноз высокой детализации (оперативно).
3. Реализация: 158 файлов, более 230 тыс. строк кода, около 230 параметров вынесено в конфигурационный файл.
4. Сопутствующие технологии: генерация ансамбля, усвоение почвенных характеристик, блок диагностики, представление результатов и др.



Архитектура совместной модели.



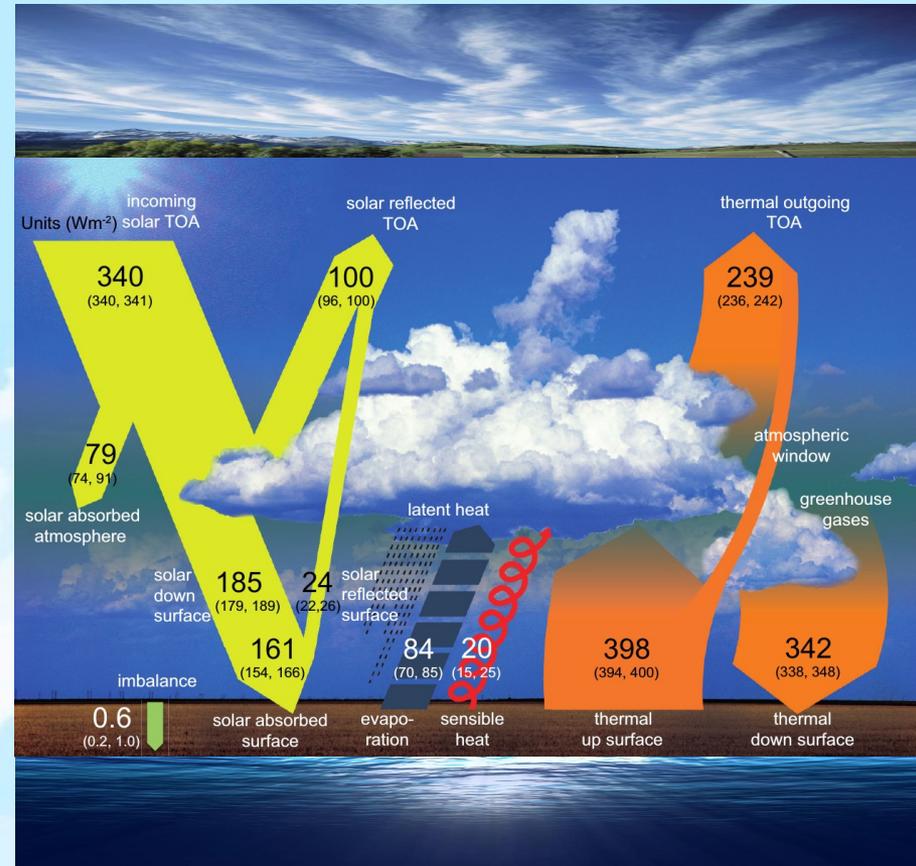
Решаемые задачи:

1. Программная реализация, отладка, масштабируемость и поиск оптимальных параллельных конфигураций совместной модели.
2. Физически правильный результат: соответствие мгновенных и осредненных модельных характеристик наблюдениям (реанализу).

Особенности реализации совместной модели

1. ПЛАВ – регулярная широтно-долготная сетка $0.9^\circ \times 0.72^\circ$ (400x251), 96 уровней по вертикали.
2. NEMO – трехполярная сетка ORCA025 с характерным разрешением около 0.25° (1442x1021), 75 уровней.
3. Шаги по времени: ПЛАВ – 1440с, NEMO – 720 с.
4. Обмен данными:

ПЛАВ -> NEMO – 10 двумерных массивов.
 NEMO -> ПЛАВ – 7 двумерных массивов.

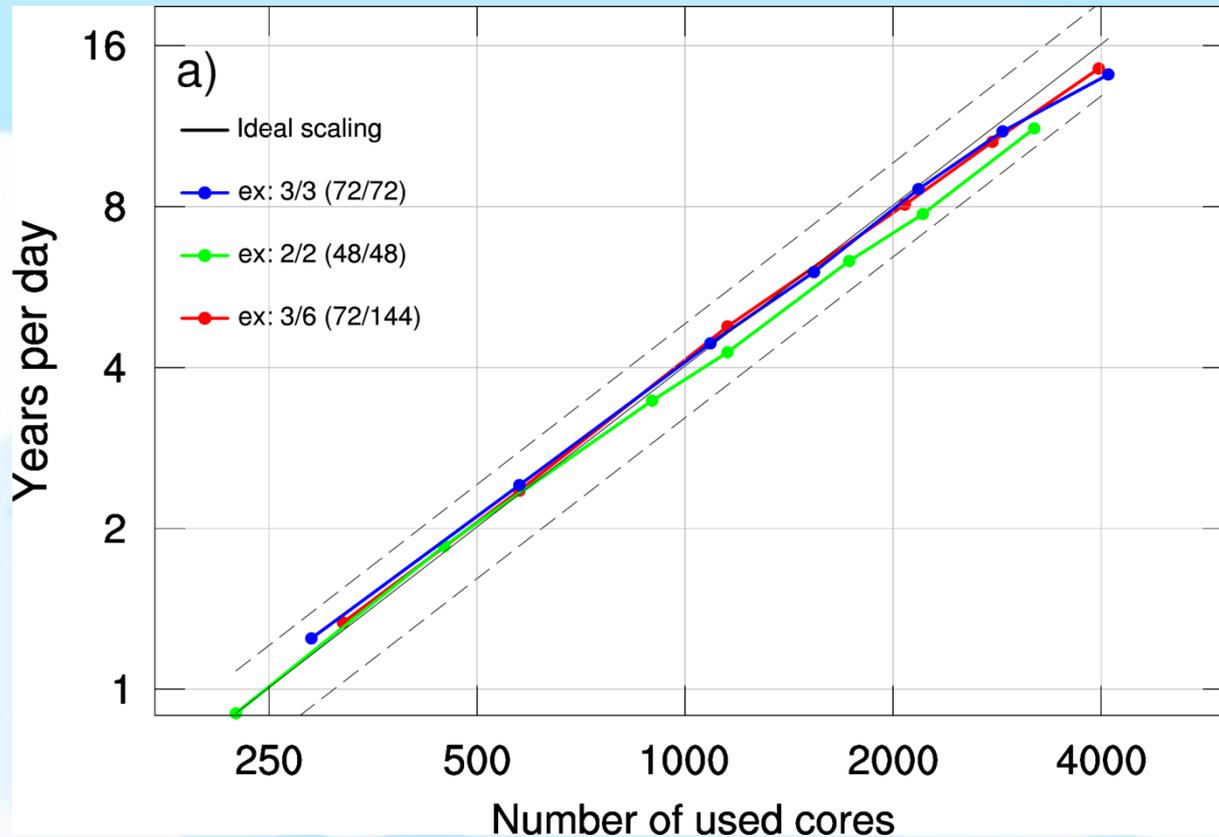


Конфигурации совместной модели

id	Время между отправкой данных, часы (мин)		Время между расчетами распространения излучения в ПЛАВ
	Из NEMO в ПЛАВ	Из ПЛАВ в NEMO	
o2a2	0.8 (48)	0.8 (48)	0.8
o3a3	1.2 (72)	1.2 (72)	1.2
оба3	2.4 (144)	1.2 (72)	1.2

Масштабируемость совместной модели на Cray XC-40

Основная метрика производительности модели – число модельных лет за сутки реального времени.

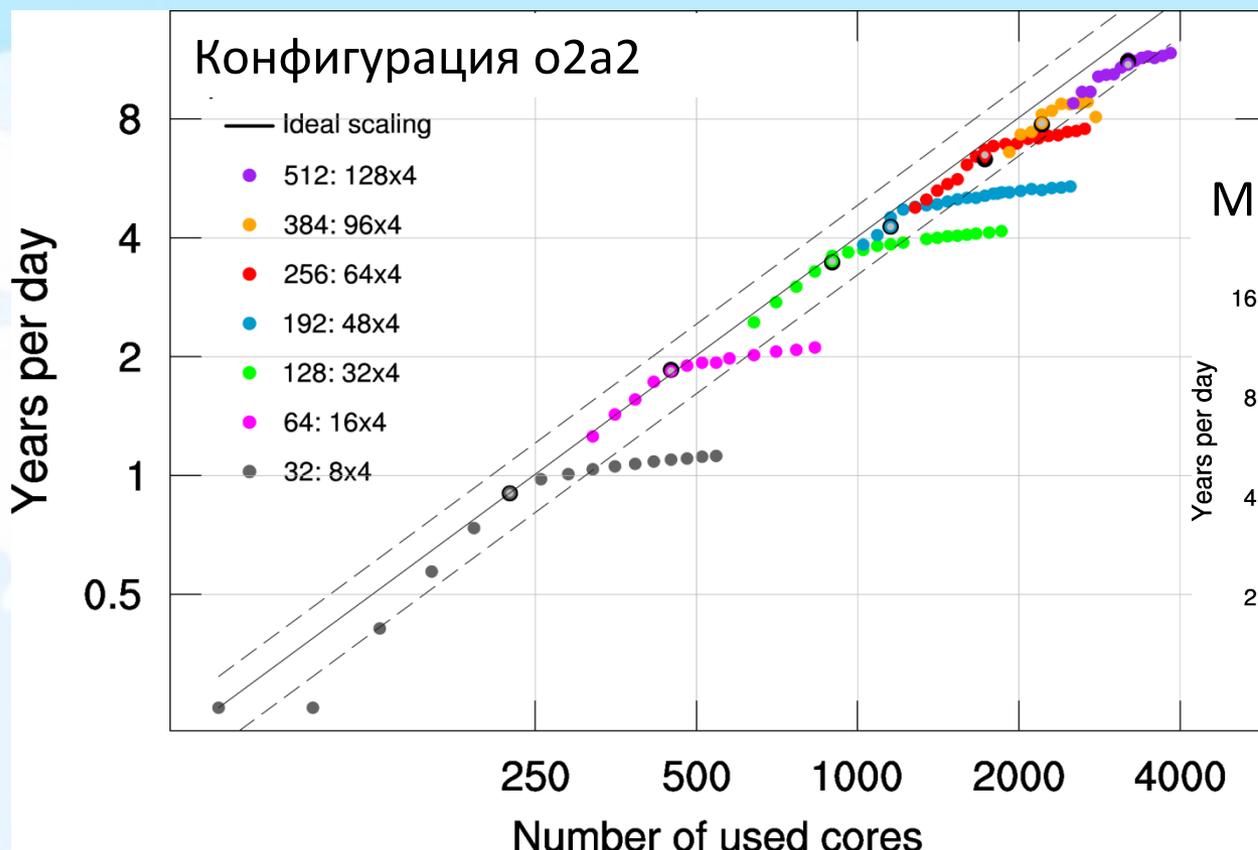


Ключевая задача: распределение вычислительных ресурсов между ПЛАВ и NEMO, обеспечивающее минимальное время «простоя» каждой модели.

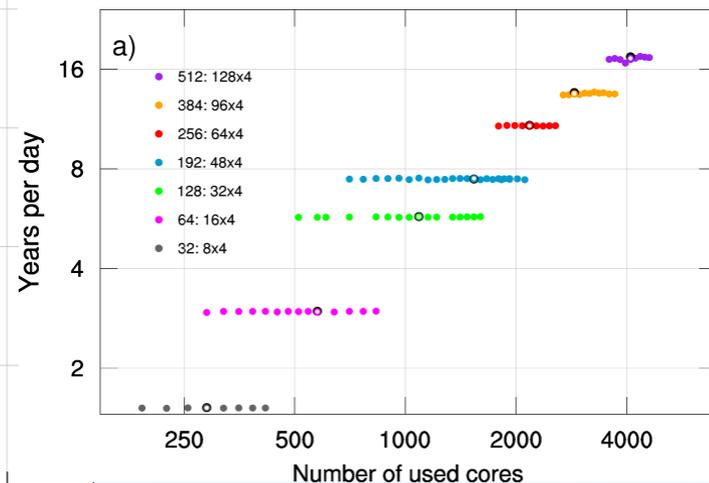
```
aprun -n 768 -d 1 -N 32 --mpmd-env OMP_NUM_THREADS=1 ./slne_nemo : \  
-n 32 -d 4 -N 8 --mpmd-env OMP_NUM_THREADS=4 ./slne_slav > slne.out
```

Масштабируемость совместной модели на Cray XC-40

Один цвет – одинаковая параллельная конфигурация ПЛАВ.



Масштабируемость ПЛАВ

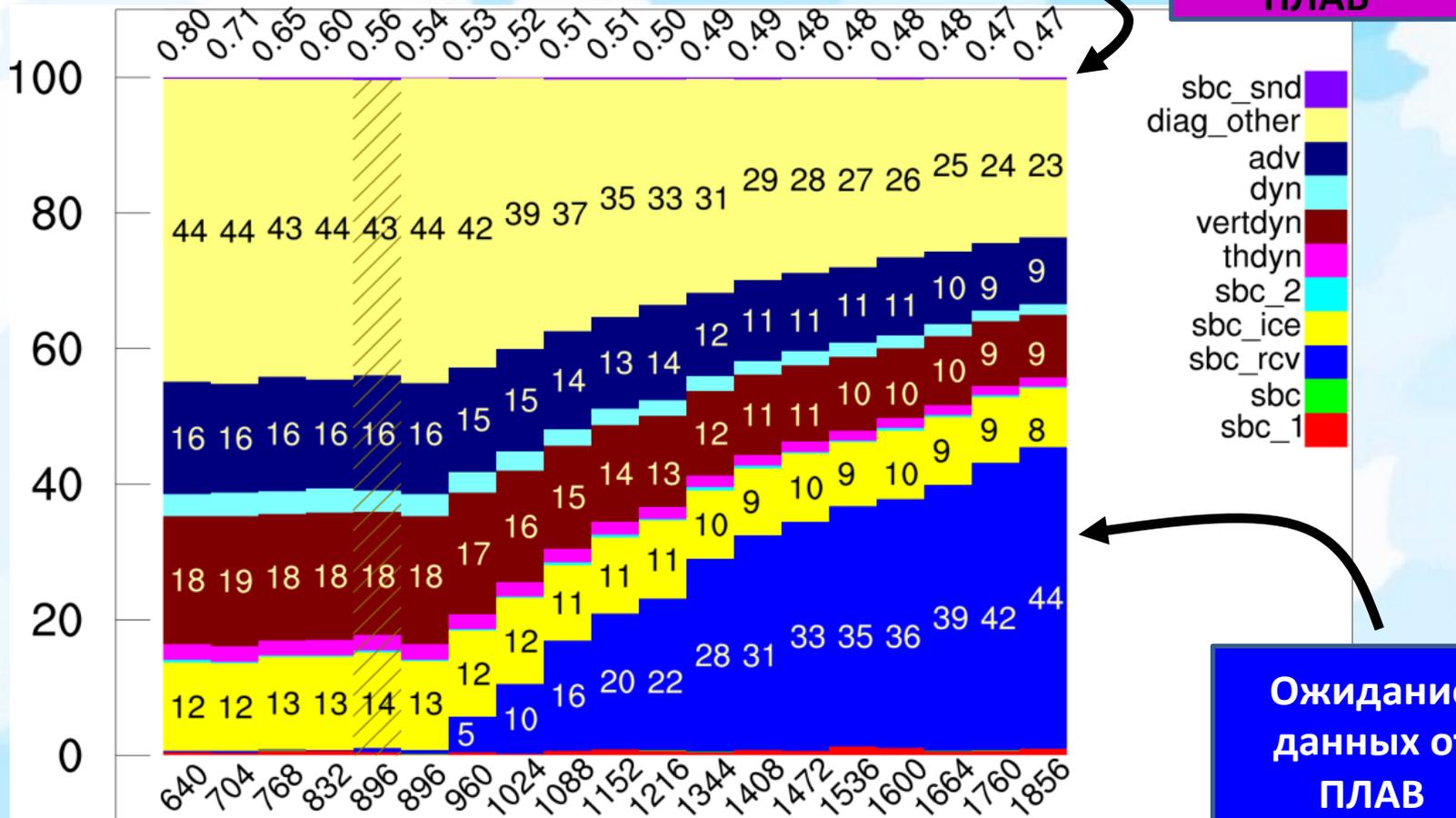


1. Параллельная эффективность модели ПЛАВ-NEMO-SI3 – около 85% в зависимости от конфигурации (для 4000 ядер по сравнению с около 100).
 2. NEMO требует от 6 до 8 раз большего числа ядер по сравнению с ПЛАВ.
- Производительность совместной модели замерялась путем замера времени расчета прогноза с заблаговременностью 10 дней без учета времени на инициализацию, постпроцессинг и операции ввода-вывода.

Производительность совместной модели

Относительное время выполнения отдельных программных блоков модели NEMO по сравнению со временем расчета одного шага по времени в зависимости от числа вычислительных ядер.

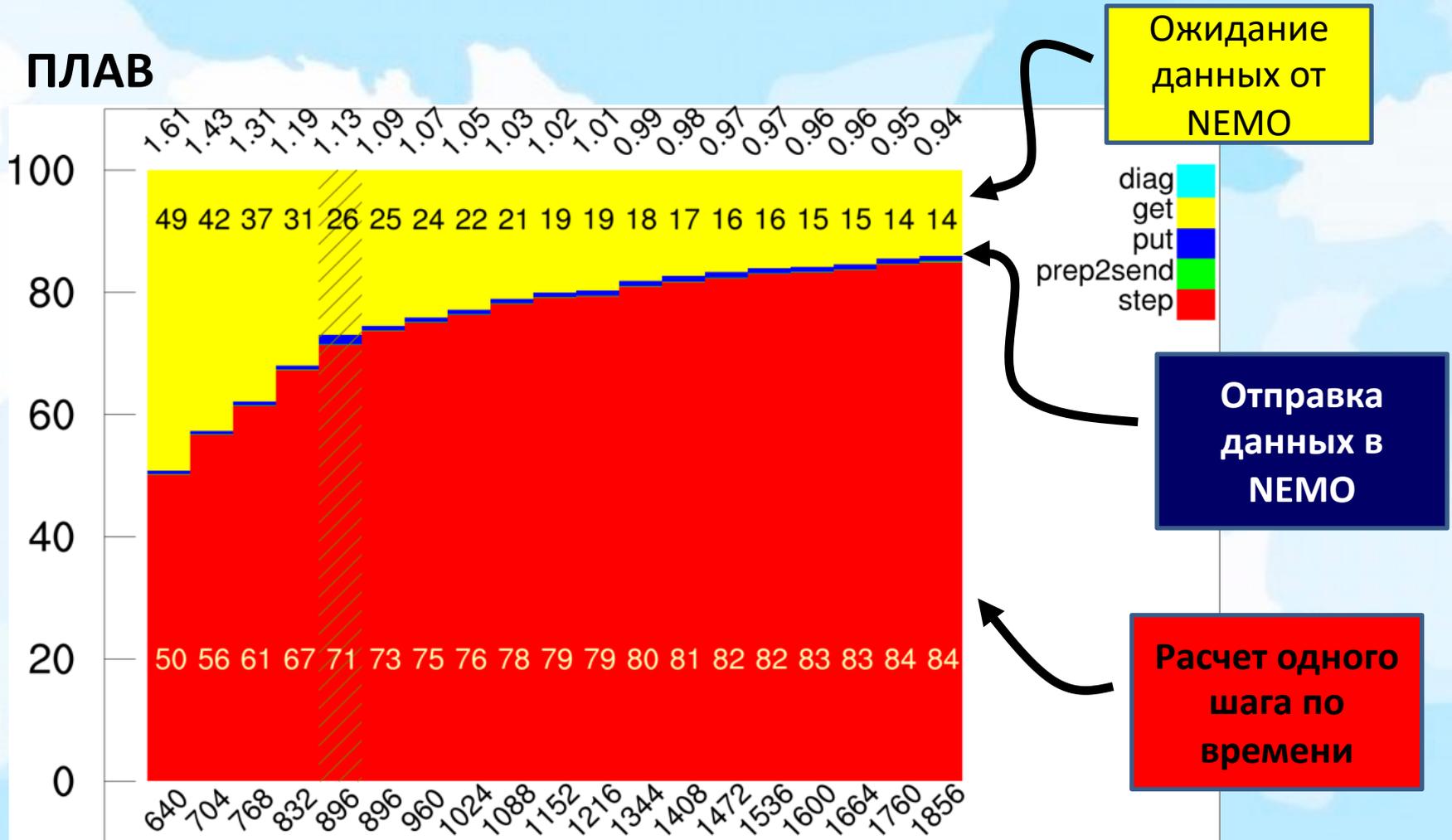
NEMO-SI3



Число вычислительных ядер совместной модели

Производительность совместной модели

Относительное время выполнения отдельных программных блоков модели ПЛАВ по сравнению со временем расчета одного шага по времени в зависимости от числа вычислительных ядер.



Ожидание
данных от
NEMO

diag
get
put
prep2send
step

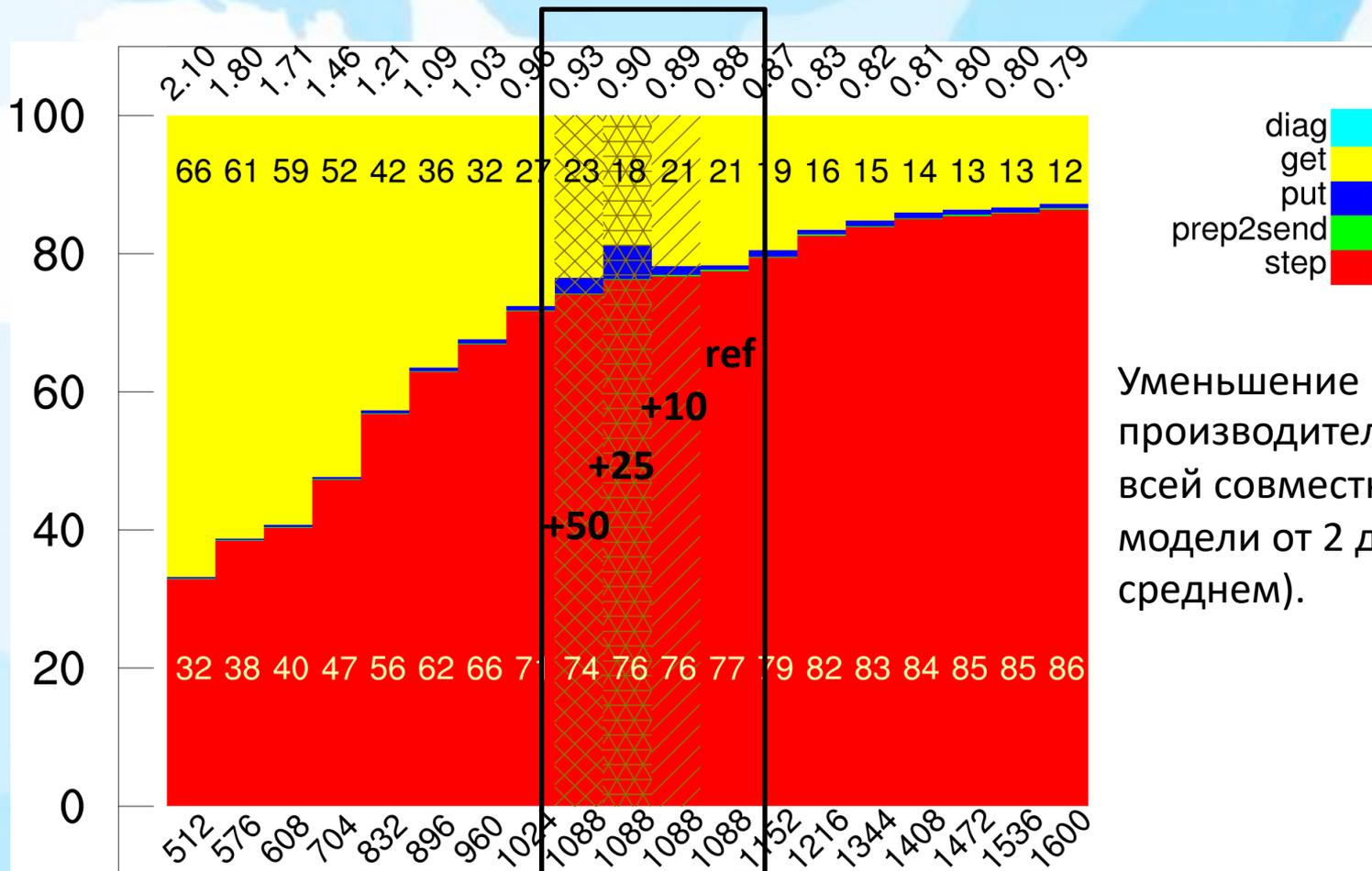
Отправка
данных в
NEMO

Расчет одного
шага по
времени

Производительность vs объем пересылок

Количество пересылаемых массивов в каждую модель был увеличен на 10, 25 и 50 массивов.

Картинка: масштабируемость ПЛАВ при фиксированном числе делегированных NEMO вычислительных ядер.

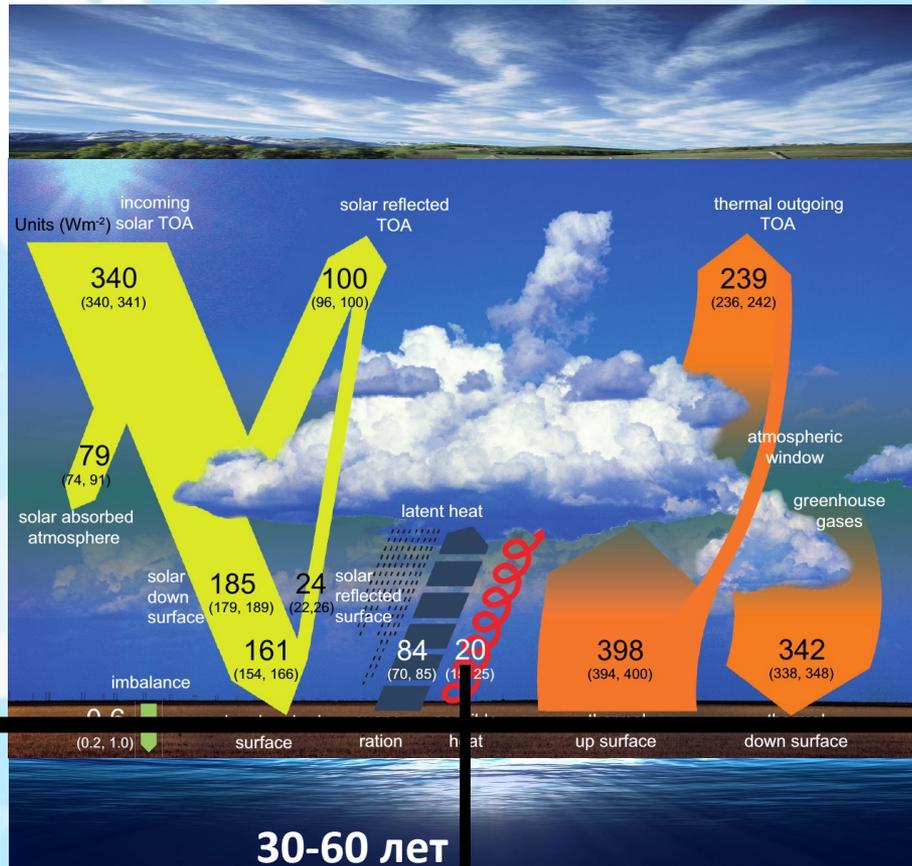


Уменьшение производительности всей совместной модели от 2 до 4% (в среднем).

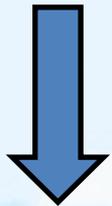
Число вычислительных ядер совместной модели

Проблематика совместного моделирования для задачи прогноза погоды

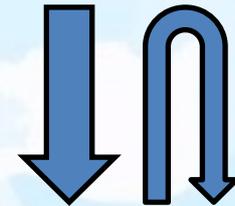
Успешность прогноза в значимой степени определяется начальными состояниями моделей и правильностью описания прямых и обратных связей между ними.



Core2/drakkar/
наблюдения/..



Модель
атмосферы



время

«Разгон» модели океана и
морского льда

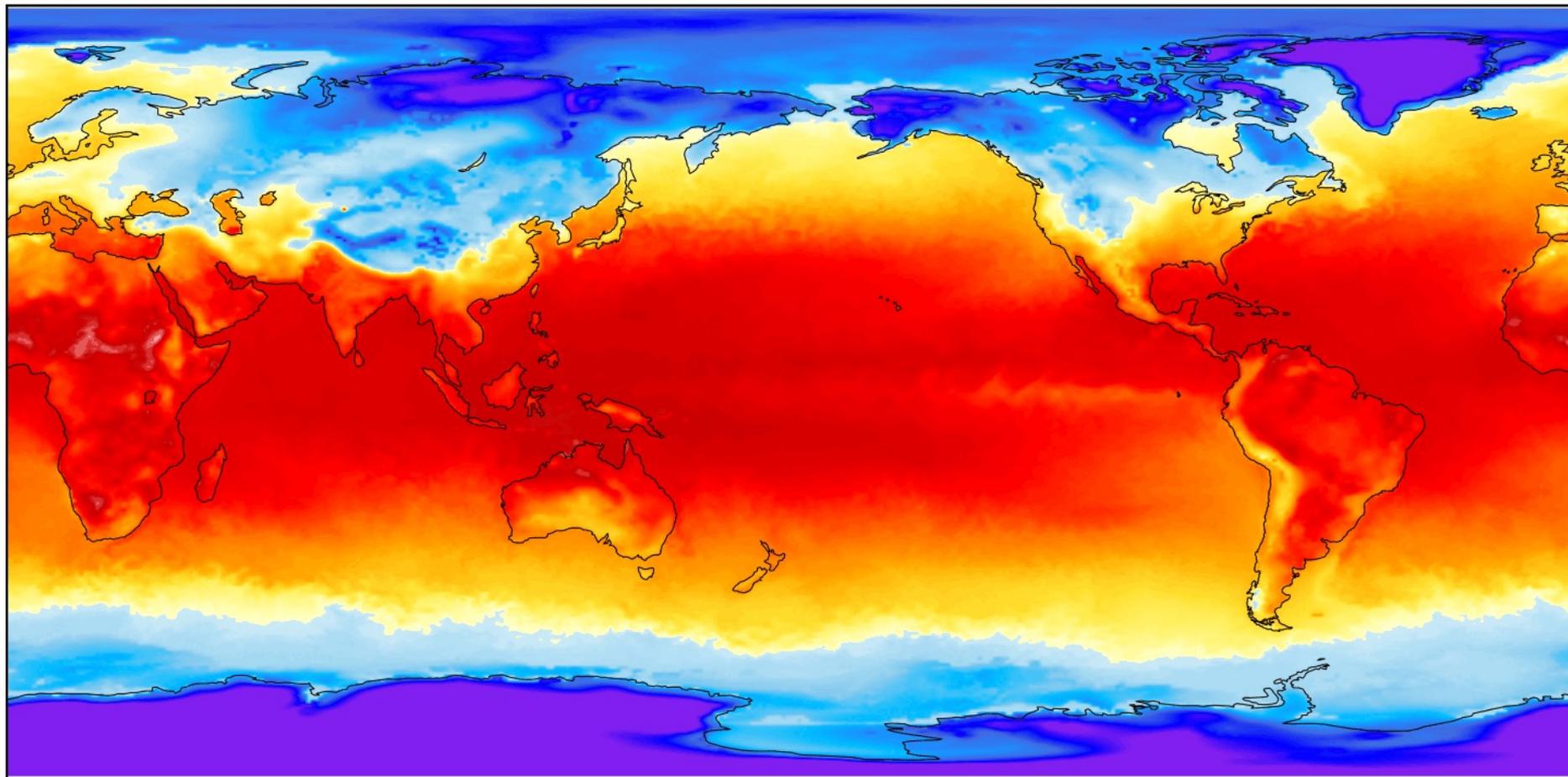
Подсоединение модели атмосферы и
опытная эксплуатация

Тестирование совместной модели

Среднесуточная температура поверхности. Старт – 00 ВСВ 21.11.2021

day PTS

Time_day: 2



day PTS ()



Data Min = 212,6, Max = 310,2, Mean = 287,6

Заключение

0. *Подготовлена ПЛАВ 072L96.*
1. Разработана совместная модель ПЛАВ-NEMO-SI3.
2. Модель хорошо масштабируется до 4000 ядер.
3. ПЛАВ-NEMO-SI3 устойчиво интегрируется на срок свыше трех лет.
4. *Совместная модель отлаживается и настраивается на оперативных данных Гидрометцентра России с целью согласования ее компонентов и уменьшения ошибок приспособления.*

Спасибо за внимание!

Ростислав Юрьевич Фадеев

ИВМ РАН, Гидрометцентр России, ИПМ РАН, МФТИ

rost.fadeev@gmail.com

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-11-00053

Компоненты ПЛАВ

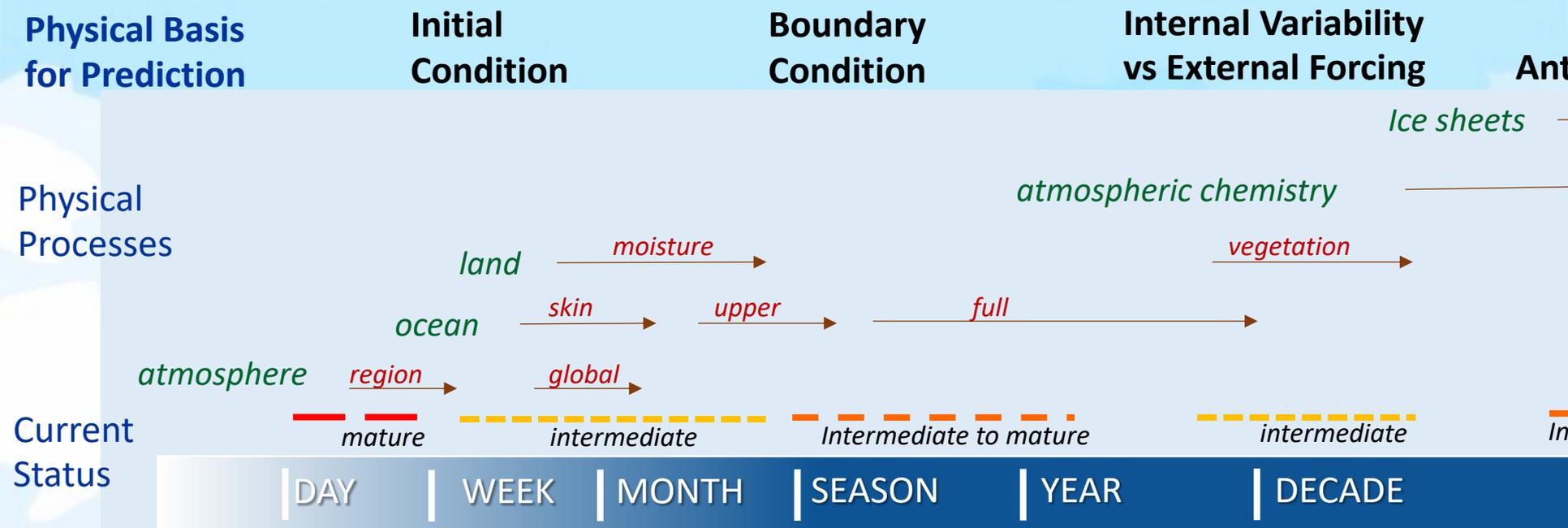
- Динамическое ядро: конечно-разностный полунеявный полулагранжев блок решения 3D уравнения типа Рейнольдса (осредненные уравнений Навье-Стокса) на вращающейся сфере с рядом упрощений.
25-45% времени счета.
- Блок параметризаций – расчет правых частей модельных уравнений. Применяются алгоритмы, разработанные в консорциуме ALADIN/ALARO с рядом модификаций; свободно-распространяемые блоки расчета коротко- и длинноволновой радиации CLIRAD SW + RRTMG LW; модель многослойной почвы ИВМ РАН – НИВЦ МГУ и др.
55-75% времени счета.

ПЛАВ сейчас – это 140 файлов и свыше 240 000 строк кода. 85 параметров ПЛАВ вынесены в конфигурационный файл. Значения свыше 350 параметров задаются явно в программном коде ПЛАВ.

Tolstykh, M., Shashkin, V., Fadeev, R., Goyman, G. Vorticity-divergence semi-Lagrangian global atmospheric model SL-AV20: Dynamical core (2017) Geoscientific Model Development, 10 (5), pp. 1961-1983. DOI: 10.5194/gmd-10-1961-2017

Tolstykh, M.A., Fadeev, R.Y., Shashkin, V.V., Goyman, G.S., Zaripov, R.B., Kiktev, D.B., Makhnorylova, S.V., Mizyak, V.G., Rogutov, V.S. Multiscale Global Atmosphere Model SL-AV: the Results of Medium-range Weather Forecasts (2018) Russian Meteorology and Hydrology, 43 (11), pp. 773-779. DOI: 10.3103/S1068373918110080

The Seamless Weather-Climate Prediction Problem



Phenomena
Major Modes
of Variability

- Источники долгосрочной предсказуемости:
- Характеристики поверхности суши и почвы.
 - Океан: верхний перемешанный слой и глубина.
 - Морской лед.
 - Взаимодействие тропосферы и стратосферы.

AMO

Ant
For

→
(S2D)