

Развитие глобальной модели Земной системы для исследовательских целей и сценарного прогнозирования изменений климата.

Актуализация прогнозов климатических изменений в 21 веке.



МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ
РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Министерство
экономического развития
Российской Федерации



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НОЦ «Моделирование и
прогнозирование глобального
климата»



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



ИВМ РАН
НИВЦ МГУ, Гидрометцентр РФ,
ИФА РАН, РГГМУ, ИПФ РАН, ИПГ,
ИВМиМГ СОРАН, КАРНЦ РАН

Единая система и моделирование глобального климата

Распоряжение Правительства РФ № 3240-р от 29.10.2022 г. о

Единой национальной системе мониторинга климатически активных веществ:

- Наряду с прямыми наблюдениями, современные **системы мониторинга используют** высокотехнологичные **компоненты физико-математического моделирования, позволяющие оценивать потоки климатически активных веществ и запасов углерода в различных экосистемах,**
- проводить глобальные и региональные ретроспективные анализы климатических характеристик атмосферы, суши и океанов.
- **Такие инструменты моделирования позволяют восполнять недостающие данные наблюдений и прогнозировать состояние Земной системы на различных временных интервалах.**

Таким образом, значимость и ценность получаемых данных мониторинга значительно увеличивается.

МЕСТО КОНСОРЦИУМА В ЕДИНОЙ СИСТЕМЕ



**Глобальный вызов,
возникающий при создании национальной
модели Земной системы:**

**Мировой уровень в степени детализации
описания и качества моделирования
характеристик Земной системы.**

Мировой уровень:

1. Формальные характеристики модели

- Оснащенность физическими блоками (+ углеродный и метановый циклы, атмосферная химия, биохимия океана, ионосфера, новый пограничный слой, новая версия модели деятельного слоя почвы)
- Пространственное разрешение (200 -> 100км)

2. Участие в международных экспериментах по сравнению моделей (программа CMIP, CORDEX)

- Широкое участие в проекте CMIP -> цитируемость, узнаваемость, используемость, всесторонний анализ и сравнение с другими моделями.
- Качество результатов по отношению к аналогам (минимизация ошибок)

3. Использование модели сторонними пользователями

- Сезонное и сверхдолгосрочное прогнозирование (привлечение Гидрометцентра РФ)
- Использование для регионального моделирования (сотрудничество с ГГО)
- Научные и научно-образовательные приложения (организация школ, конференций, в т.ч. при участии университета Сириус)

4. Широкий консорциум разработчиков

5. Сертификация модели государственными организациями

- Использование для прогнозирования/оценок в интересах бизнеса (ЦМКП)

Ключевые направления реализации проекта

- **Нельзя одновременно проводить расчеты и модифицировать модель**
- **Структура исходного кода модели не поддерживала возможность работы с ним нескольких групп разработчиков одновременно**
- Начальный этап (2022г и 1 кв. 2023г) – внедрение в модель всех наработок 2018-21гг, фиксация полученной версии (INM-CM6). Независимо – разработка концепции новой (модульной) архитектуры и блок-схем новых модулей.
- Второй этап (2023г и 1-2кв 2024г) – моделирование климата с моделью INM-CM6, система сезонного прогнозирования на базе INM-CM6. Независимо – СОЗДАНИЕ НОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ, АДАПТАЦИЯ ЯДРА МОДЕЛИ к НОВОЙ ПЛАТФОРМЕ (новая реализация, старые характеристики), разработка новых модулей.
- Третий этап (3-4кв 2024г) – сборка модели на базе новой платформы, всестороннее тестирование

Модульная архитектура Модели Земной системы



<https://gitlab.inm.ras.ru>

Взаимодействие организаций – участников НОЦ



График реализации проекта

Сделано Запланировано

Климатическая модель ИВМ РАН INM-CM5

2022

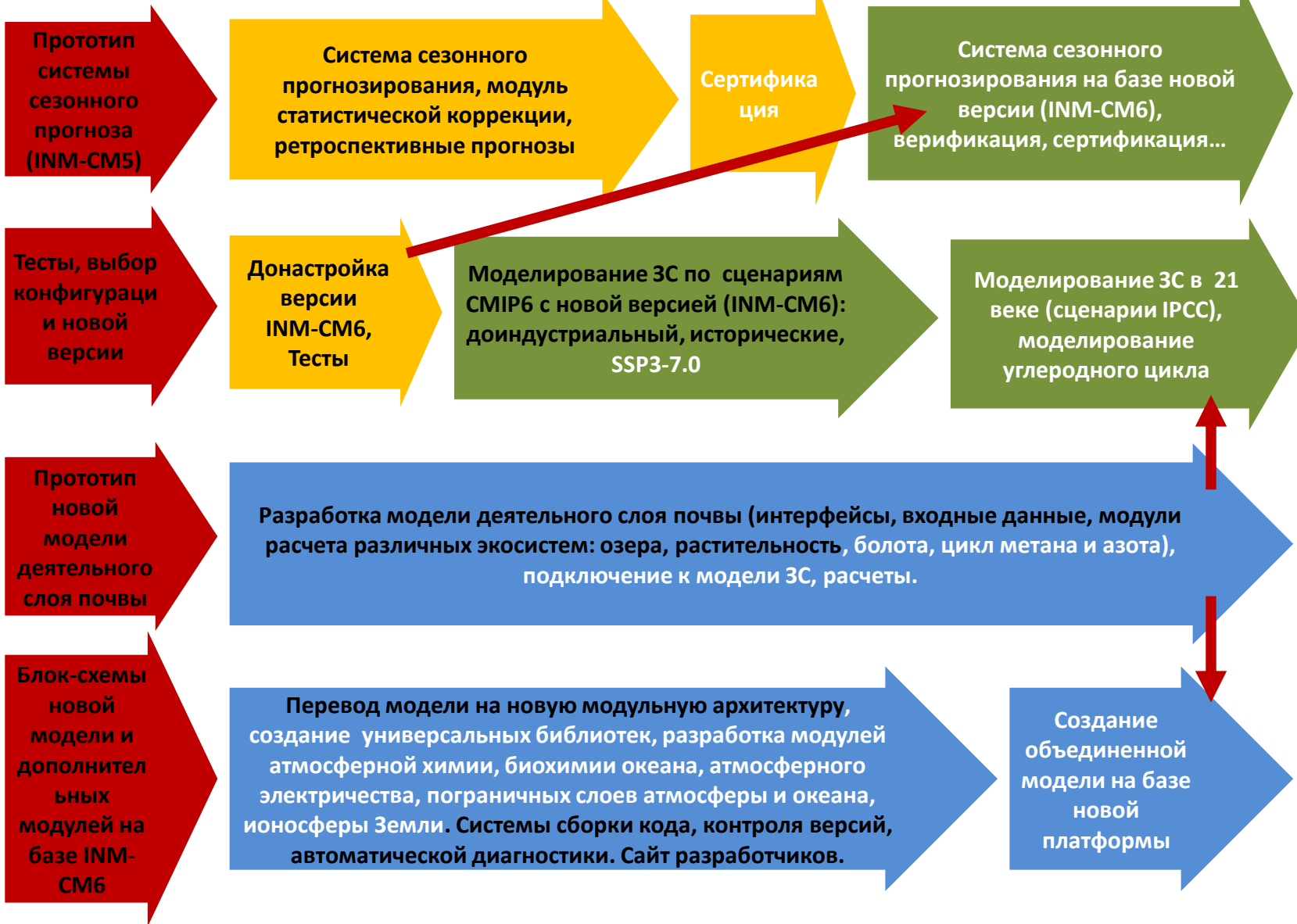
2023п1

2023п2

2024

Новые оценки

Новая версия модели



ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ 2022-23гг на данный момент



Создана новая версия модели Земной системы, значительно превосходящая предыдущую по пространственной детализации и по качеству воспроизведения характеристик климатической системы.

Доклад завтра - Володин Е.М. (ИВМ РАН)



Проведены эксперименты по моделированию доиндустриального климата и климата 19-20века. Проведен всесторонний анализ качества модели в сравнении с данными наблюдений и моделями ведущих центров

Доклад - Гущина Д.Ю. (Географический ф-т МГУ)



Создана система сезонного прогнозирования на основе совместной модели динамики атмосферы, океана и морского льда, соответствующая мировому уровню .

Доклад - Хан В.М. (Гидрометцентр РФ)

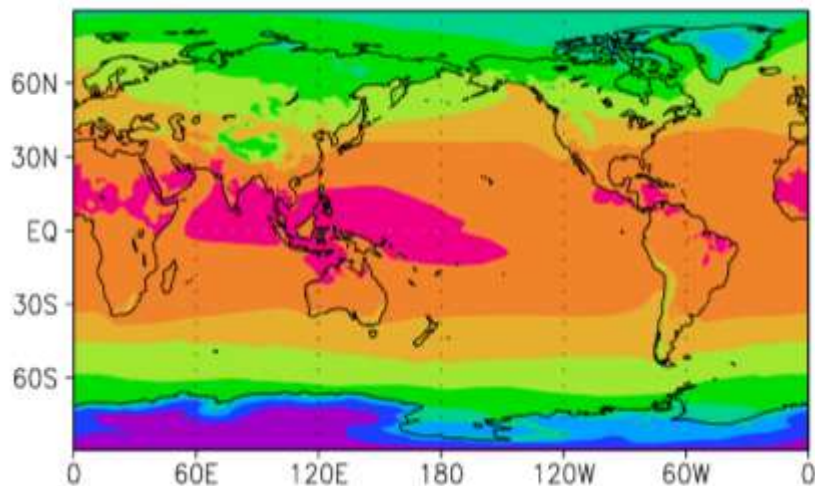


Разработаны блоки моделирования деятельного слоя почвы, атмосферной химии, биохимии океана, атмосферного электричества для использования в составе модели Земной системы ИВМ РАН.

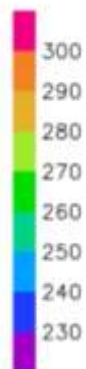
Доклады - Степаненко В.М. (НИВЦ МГУ) и Смышляев С.П. (РГГМУ)

Образ ядра модели ЗС 2025+ Доклады Яковлев Н.Г. (ИВМ РАН) и Шашкин В.В. (ИВМ РАН)

Модель INM-CM6M vs INM-CM5: воспроизведение средней глобальной температуры Земли



ERA5, 1991-2020



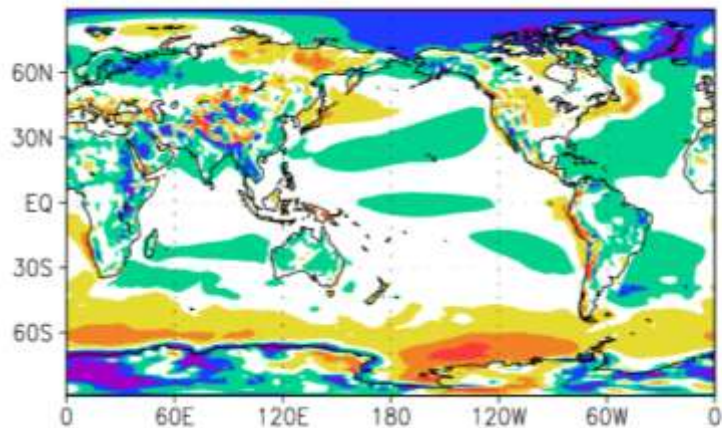
Уменьшение ошибок

T2m: 1.87K → 1.62K

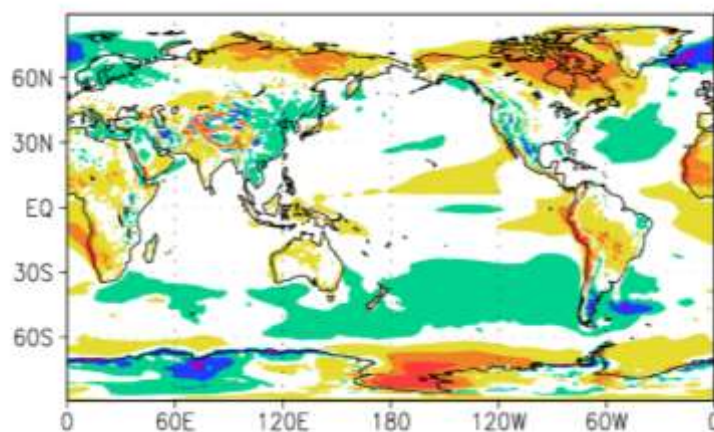
T850: 2.61K → 1.10K

H500: 42.5м → 22.1м

Осадки: 1.34мм → 1.27мм

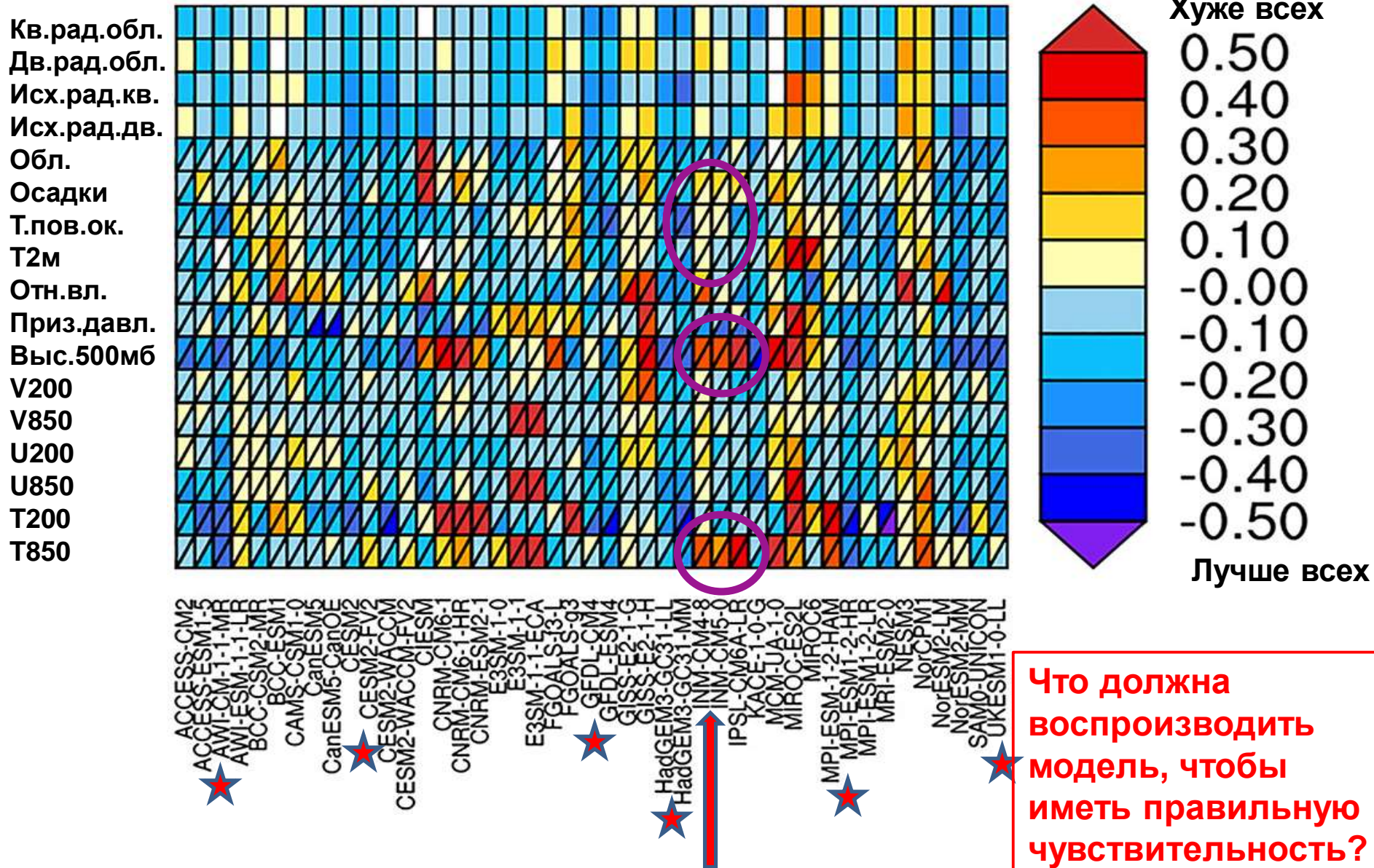


Ошибка для INM-CM5
СКО 1.87К

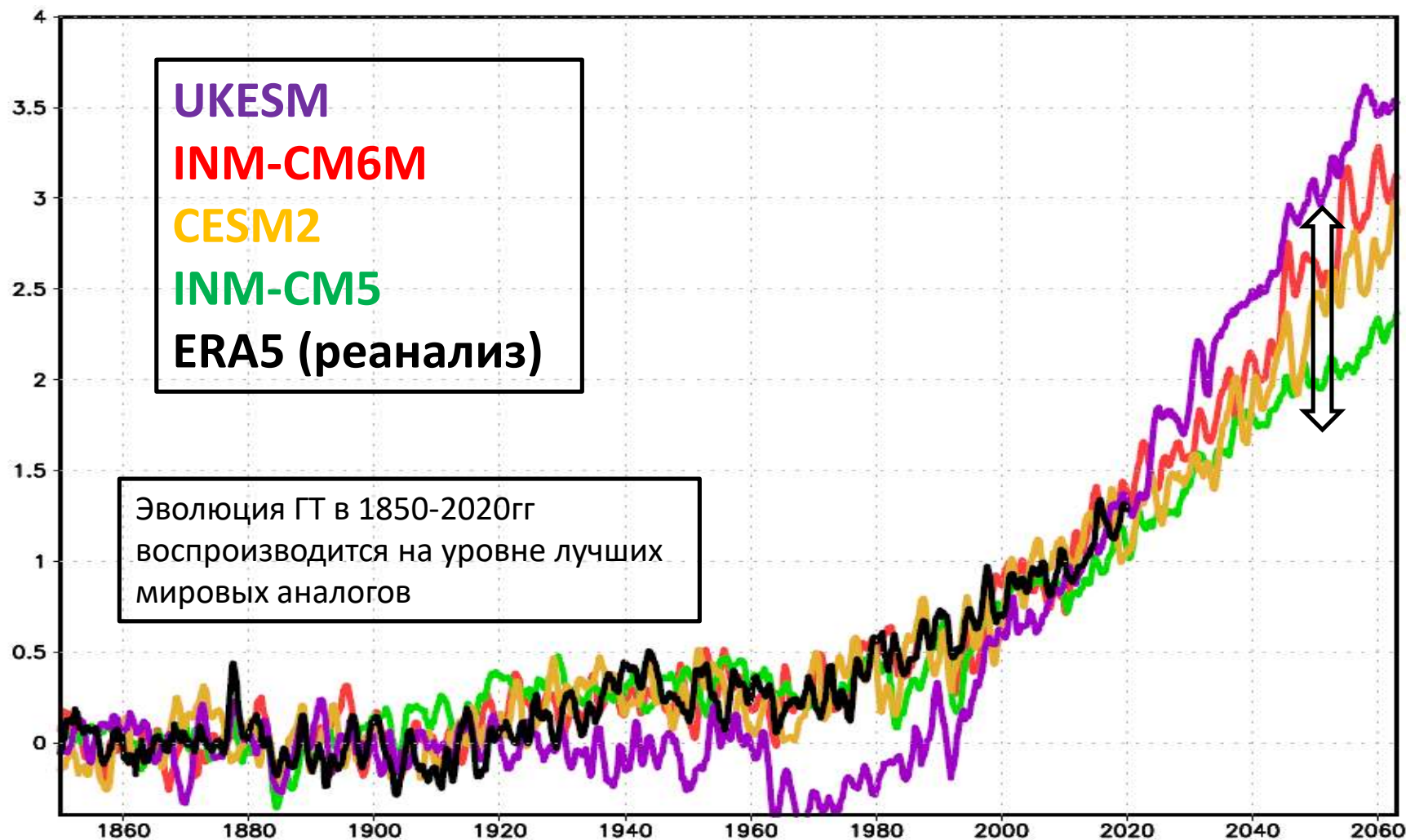


Ошибка для INM-CM6M
СКО 1.62К

Качество моделей по отношению к «среднему» (в ед. стандартного отклонения.)



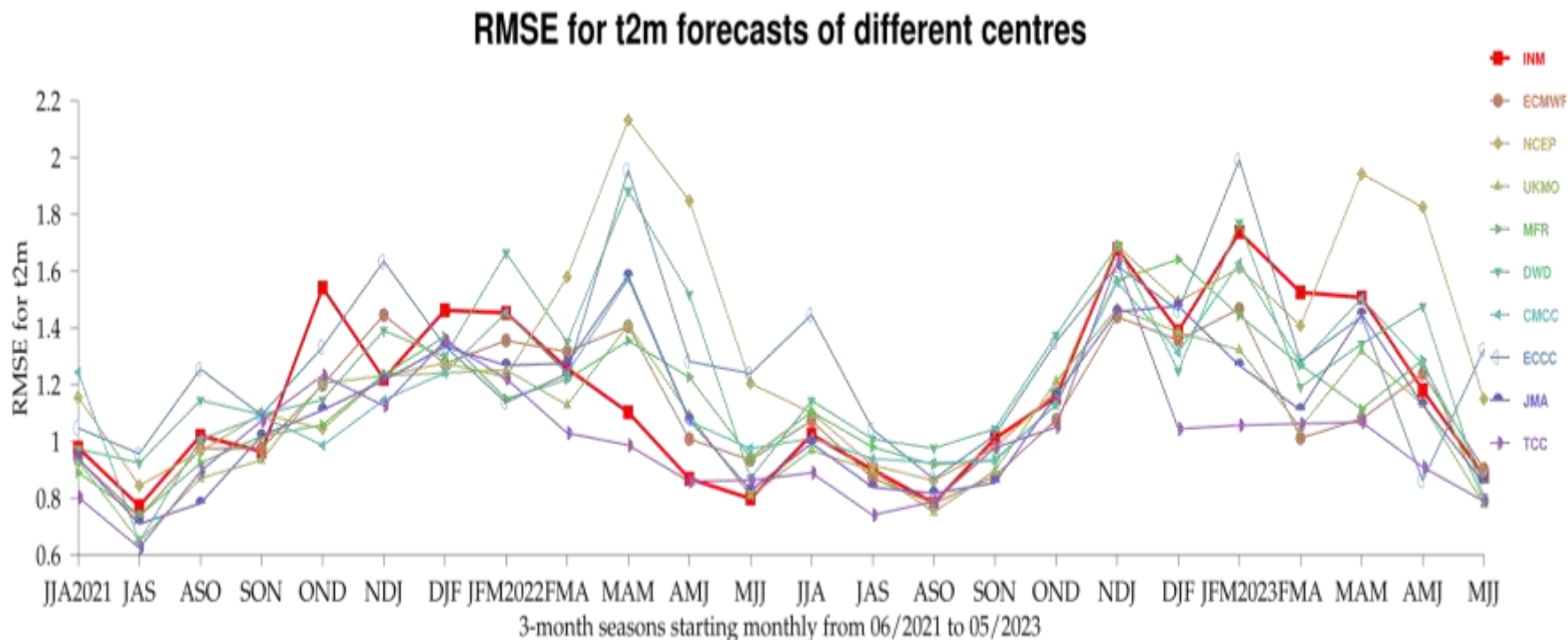
Средняя глобальная температура поверхности Земли*



Диапазон прогнозов средней глобальной температуры за 2040-2060гг: $2.3 \pm 0.65K$

* Относительно 1850-1900, эксперимент CMIP6, используемый сценарий – SSP3-7.0

Сезонные прогнозы на основе использования модели Земной системы ИВМ РАН (Гидрометцентр)



- Выполнены оценки практической предсказуемости сезонных прогнозов на базе климатической модели ИВМ РАН
- Разработаны программные коды статистической коррекции сезонных прогнозов приземной температуры воздуха по северной Евразии

503 Service Unavailable | Climatic Center | [8 unread] - valentina_xhan... | Сезонный прогноз | Начальная страница | Прогнозы по моделям Гид...

WMO | Северо-Евразийский Климатический Центр

О центре | **Прогнозы** | Оценки прогнозов | Мониторинг | Данные | Обучение, тренинги | Климатические проекции | СЕАКОФ

- Прогностические данные моделей Гидрометцентра России и Главной геофизической обсерватории в виде числовых копий
- Совместные испытания технологий глобального сезонного прогноза на основе моделей Гидрометцентра России и ГГО
- Прогноз Гидрометцентра России на месяц по территории СНГ с нулевой заблаговременностью
- Карты прогноза различных глобальных прогностических центров
- Внутрисезонный прогноз
- Вероятностный прогноз температуры и осадков для СНГ на вегетационный период 2023 г. (апрель-сентябрь)
- Статистическая интерпретация прогнозов по модели Гидрометцентра России

СЕВЕРО-ЕВРАЗИЙСКИЙ КЛИМАТИЧЕСКИЙ ФОРУМ

Прогнозы по моделям Гидрометцентра России (ГМЦ) и Главной Геофизической Обсерватории им. Воейкова (ГГО)

Прогнозы по моделям Гидрометцентра России (ГМЦ) и Главной Геофизической Обсерватории им. Воейкова (ГГО)

Гидродинамико-статистический вероятностный прогноз для 6 регионов: Европа, Северная Азия, Евразия, Россия, Арктика, Глобус

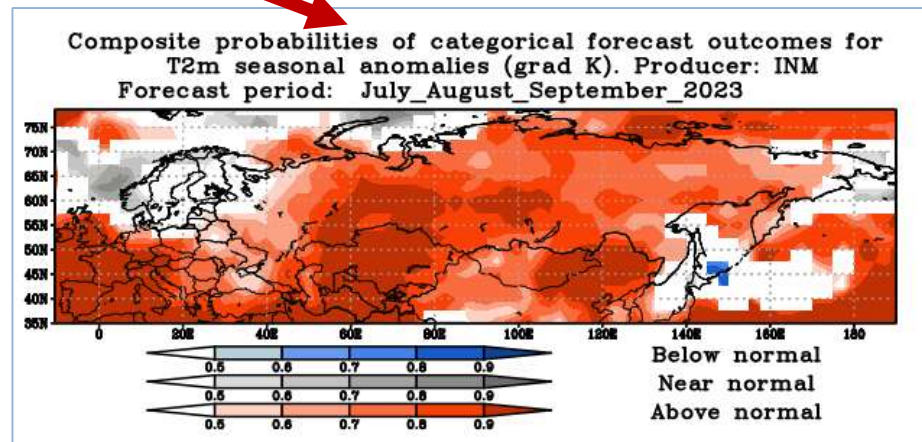
Прогностические центры: Гидрометцентр России (ГМЦ), Главная Геофизическая Обсерватория им. Воейкова (ГГО)

Экспериментальные прогнозы: новая версия модели Гидрометцентра России (ГМЦ (эксп.)), модель Института вычислительной математики (ИВМ (эксп.))

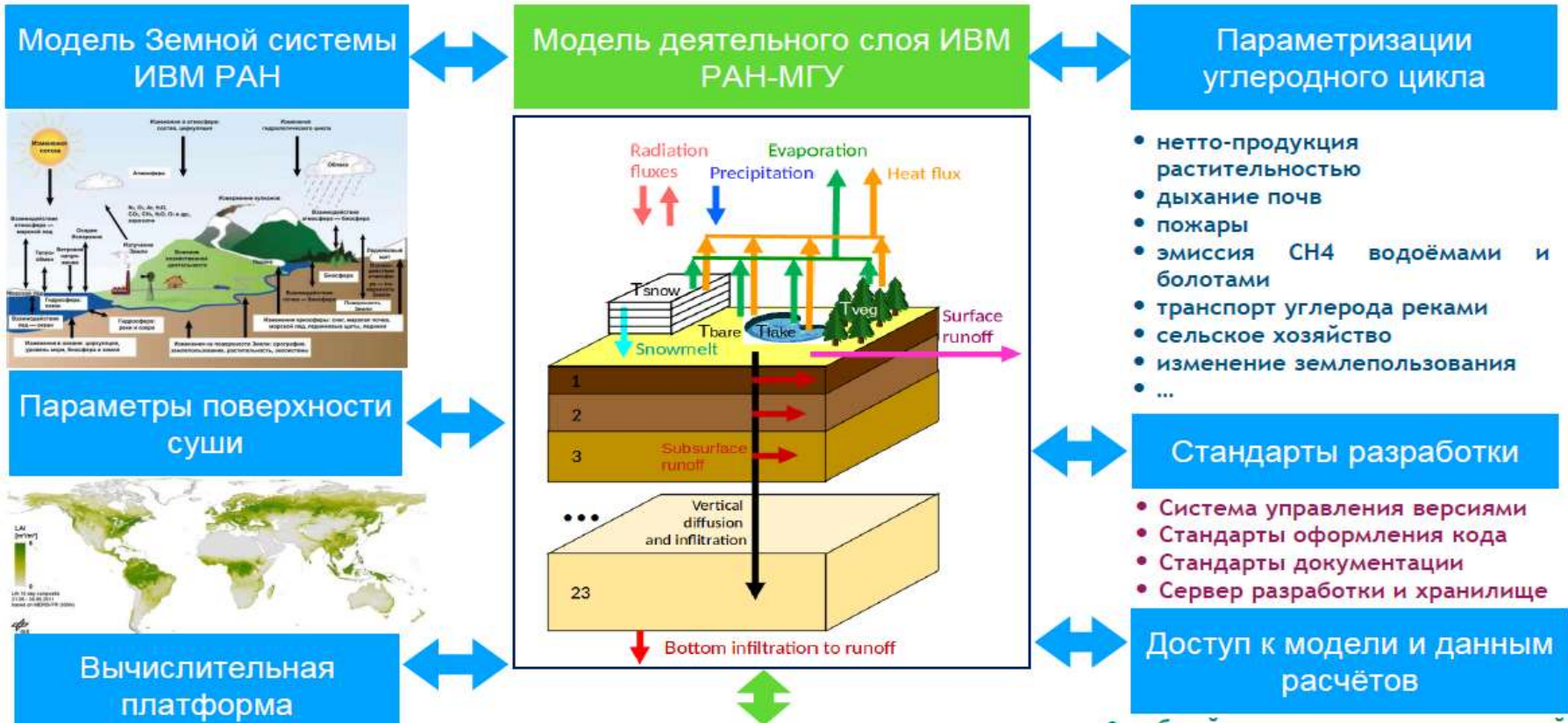
Регион	Метеопараметр	Заблаговременность	Регион	Метеопараметр	Заблаговременность
Евразия	T на высоте 2 м	Нулевая	Евразия	Осадки	Нулевая
Период	Вид прогноза	Центр	Период	Вид прогноза	Центр
Сезон	Средние по ансамблю	ГМЦ+ГГО	Сезон	Средние по ансамблю	ГМЦ+ГГО
		ГМЦ			
		ГГО			
		ИВМ (эксп.)			

<http://seakc.meteoinfo.ru/forecast>

Пример прогноза температуры поверхности Земли для модели Земной системы INM-CM5



Концепция разрабатываемой модели деятельного слоя почвы (НИВЦ МГУ)



Ключевые приложения на данный момент

Система прогноза на сезон +

- Сельское хозяйство (продолжительность вегетационного периода, вероятность засух...)
- Энергетика и транспорт (вероятность волн холода/жары, состояние вечной мерзлоты, состояние морского льда....)
- Здоровье (волны жары/холода, качество воздуха..)
- Водные ресурсы (вероятность паводков, наводнений)

Оценки климатических изменений в 20-21веках

- Независимые данные о состоянии Земной системы для различных климатических проекций
- Данные для климатического риск - менеджмента
- Добавленное качество для ансамбля моделей CMIP
- Данные для регионального моделирования

Ключевые потребности: вычислительные ресурсы, 5-10 PFlops



Спасибо за внимание!

Ядро модели Земной Системы - модели гидро- и термодинамики атмосферы/океана, основанные на уравнениях Навье-Стокса, Рейнольдса, которые решаются численно на высокопроизводительных ЭВМ

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

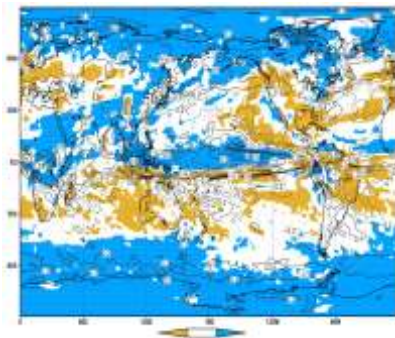
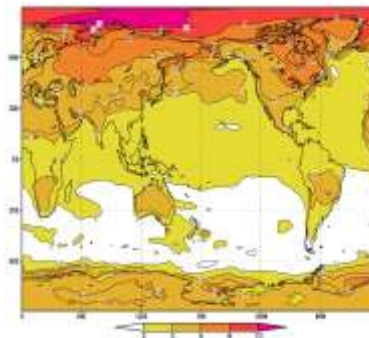
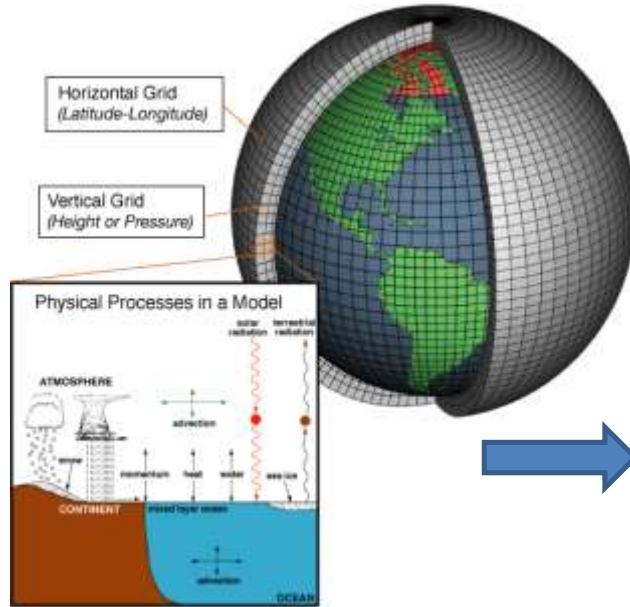
$$\frac{dv}{dt} + \left(f + \frac{u}{a} \operatorname{tg} \varphi \right) u + \frac{1}{a} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} + \frac{RT}{\pi} \frac{\partial \pi}{\partial \varphi} \right) \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} = F_v,$$

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

$$\frac{dT}{dt} - \frac{RT}{\pi c_p} \left(\frac{\partial \pi}{\partial t} + \frac{u}{a \cos \varphi} \frac{\partial \pi}{\partial \lambda} + \frac{v}{a} \frac{\partial \pi}{\partial \varphi} + \frac{\pi \dot{\sigma}}{\sigma} \right) = F_T + \varepsilon,$$

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

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



- + Внешние воздействия
- + Параметризации процессов, не описанных явно (шаг сетки ~ 100км)