

# От виртуальной исследовательской среды анализа климатической информации к цифровым двойникам процессов

Gordov E.P.

*Институт мониторинга климатических и  
экологических систем СО РАН*

**[gordov@scert.ru](mailto:gordov@scert.ru)**

[Enhancing access to research data for climate research](#), Tuesday 19 October, 13:00-14:30 UTC: [REGISTER](#)

The Science of earth and environment is emerging as the Science of environmental applications, a data-intensive discipline that integrates physical, biogeochemical, engineering, and human processes, to find solutions to climate challenges.

Drastically increasing volumes of data create opportunities but also challenges for data governance, storage and ownership of these data.

The resulting concerns around reliability of data need to be addressed by human capacities to interpret and interpolate existing data as well as through enhanced incentives and sustainable infrastructures for further sharing of data. For this purpose, international co-operation remains indispensable. Open access to all climate data is necessary to monitor global fluctuations of the climate that may have a global impact.

## Динамика процесса в науках о Земле:

Данные  информация  знание  услуги  
 управление?

Термины и подходы: e-science, информационно-вычислительная инфраструктура, киберинфраструктура, научные порталы, виртуальная исследовательская среда, новые модели, цифровые двойники...

Переход от центров хранения данных и поддержки доступа к ним к платформам удаленной обработки данных, их анализа и визуализации результатов (виртуальная исследовательская среда)

 построение цифровых двойников объектов/процессов.

# Центры данных



# Data Access

Ex: Global Summary of The Year

[Search Datasets](#)

[Explore Datasets](#)

Free access to NCEI's archive of global coastal, oceanographic, geophysical, climate, and historical weather data. These data include quality controlled hourly, sub-hourly, daily, monthly, seasonal, and yearly measurements of NOAA's archived environmental data. Data are available through direct download or sub-setting services.

## Integrated Surface Dataset (Global)

The Integrated Surface Dataset (ISD) is composed of worldwide surface weather observations from over 35,000 stations, though the best spatial coverage is evident in North America, Europe, Australia, and parts of Asia. Parameters included are: air quality, atmospheric pressure, atmospheric temperature/dew point, atmospheric winds, clouds, precipitation, ocean waves, tides and more. ISD refers to the data contained within the digital database as well as the format in which the hourly, synoptic...

[View Details](#)

[Search Data](#)

## Global Summary of the Month (GSOM), Version 1

This Global Summaries dataset, known as GSOM for Monthly, contains a monthly resolution of meteorological elements from 1763 to present with updates applied weekly. The major parameters are: monthly mean maximum, mean minimum and mean temperatures; monthly total precipitation and snowfall; departure from normal of the mean temperature and total precipitation; monthly heating and cooling degree days; number of days that temperatures and precipitation are above or below certain thresholds;...

[View Details](#)

[Search Data](#)

## Global Historical Climatology Network - Daily (GHCN-Daily), Version 3

The Global Historical Climatology Network - Daily (GHCN-Daily) dataset integrates daily climate observations from approximately 30 different data sources. Version 3 was released in September 2012 with the addition of data from two additional station networks. Changes to the processing system associated with the version 3 release also allowed for updates to occur 7 days a week rather than only on most weekdays. Version 3 contains station-based measurements from well over 90,000 land-based...

[View Details](#)

[Search Data](#)

## Global Summary of the Year (GSOY), Version 1

This Global Summaries dataset, known as GSOY for Yearly, contains a yearly resolution of meteorological elements from 1763 to present with updates applied weekly. The major parameters are: – average annual temperature, average annual minimum and maximum temperatures; total annual precipitation and snowfall; departure from normal of the mean temperature and total precipitation; heating and cooling degree days; number of days that temperatures and precipitation are above or below certain...

[View Details](#)

[Search Data](#)

Активация Windows

Чтобы активировать Windows, перейди

ECMWF produce and disseminate weather forecast data for the National Meteorological and Hydrological Services (NHMSs) of [ECMWF Member and Co-operating States](#) and their authorised users.

ECMWF also archives data and makes this available to authorised users. Some data is also made available under licence and some is publicly available.

#### See also

- [Parameter database](#)
- [MARS activity](#)



### Real-time forecast data

These are the medium, extended, and long range forecast data produced by our [current model](#).

---

[Catalogue of ECMWF Real-time Products](#)

---

[WMO Essential data](#)

---

[WMO Additional data](#)

---



### Archive data for research

These are the historical meteorological data available from the ECMWF archive.

---

[Popular: ERA5](#)

---

[Data in the MARS Catalogue](#)

---

[Data in the Catalogue of ECMWF Archive Products](#)

---

[Public datasets](#)

---

[Reanalysis datasets](#)

---

[Copernicus Climate Data Store](#)

---



### How to access ECMWF data

Who you are and the agreement you have with ECMWF determines which data you can access. How you obtain the data depends on which data it is.

---

[Computer access](#)

---

[Web API access](#)

---

[Licences available](#)

---

[Ordering](#)

---

Активация Windows  
 Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".  
[Real-time data delivery](#)

---

Знание и услуги

Формирование виртуальной  
исследовательской среды

# World Climate Services Programme

The World Climate Services Programme (WCSP) contributes to improving the availability of, and access to, reliable climate data, monitoring and forecasts. The Programme promotes the development of appropriate institutional mechanisms and operational infrastructure to generate, exchange and disseminate quality information on climate and provides guidance on related applications and services.

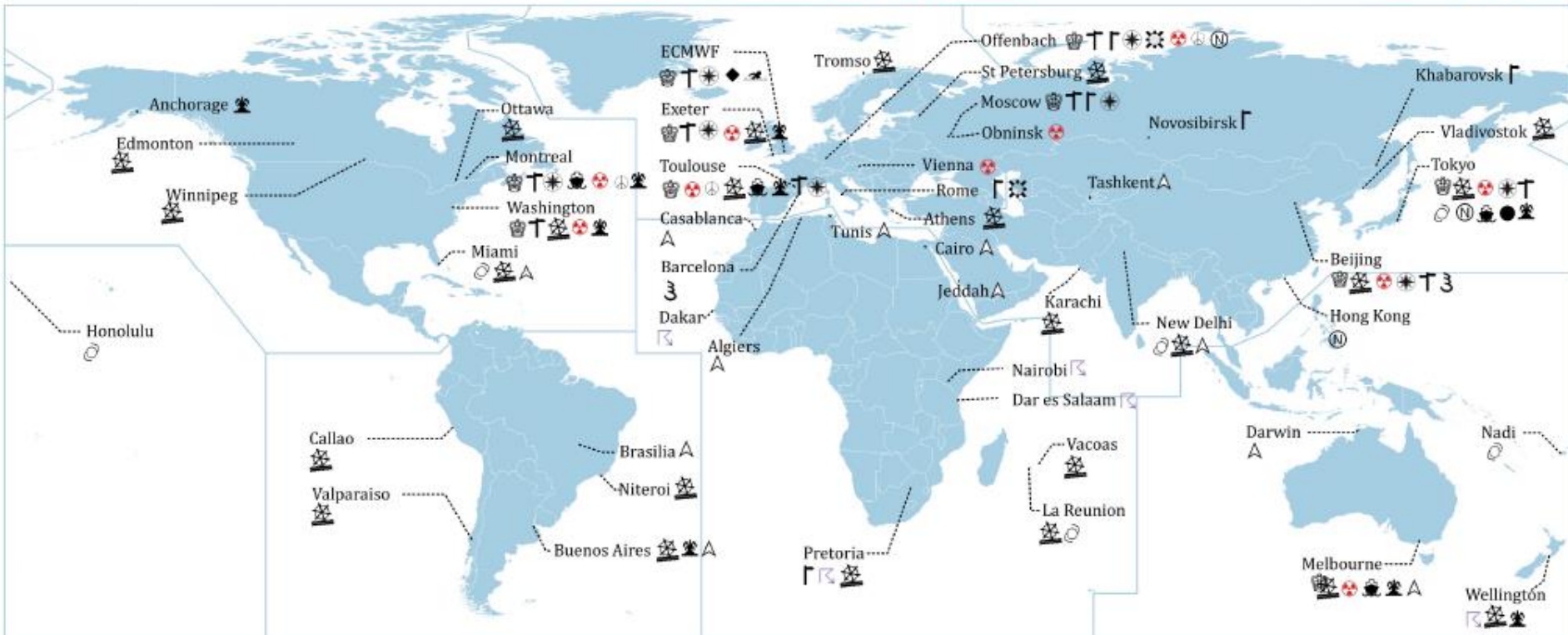
The WCSP spans four inter-related areas:

- Climate data and analysis;
- Climate monitoring, watch and prediction;
- Climate system operation and infrastructure; and
- Climate adaptation and risk management.

# WMO Designated Global Data-processing and Forecasting System Centres

- Nowcasting to medium-range prediction

Updated on 22 July 2021



Legend (The number in parenthesis indicates the number of designated Centres)

- |   |  |  |
|---|--|--|
| ☉ World Meteorological Centre (WMC) (10)  | ⚓ RSMC Numerical Ocean Wave Prediction (4)     | ⊃ RSMC Sand and Duststorm Forecasts (2)              |
| △ RSMC* Geographic Specialization (12)    | Ⓝ RSMC Nowcasting (3)                          | ⚡ ICAO designated Volcanic Ash Advisory Centres (9)  |
| ⊕ RSMC Global Deterministic NWP** (9)     | Ⓜ RSMC Regional Severe Weather Forecasting (5) | ⚓ RSMC Marine Meteorological Services (24)           |
| ⊛ RSMC Global Ensemble NWP (8)            | Ⓞ RSMC Tropical Cyclone Forecasting (6)        | ◆ Lead Centre for Deterministic NWP Verification (1) |
| ┌ RSMC Limited-Area Deterministic NWP (6) | ⊛ RSMC Nuclear Emergency Response (10)         | ● Lead Centre for EPS Verification (1)               |
| ⊛ RSMC Limited-Area Ensemble NWP (2)      | Ⓢ RSMC Non-Nuclear Emergency Response (3)      | ⚓ Lead Centre for Wave Forecast Verification (1)     |

\* RSMC stands for Regional Specialized Meteorological Centre

\*\* NWP stands for Numerical Weather Prediction

Disclaimer

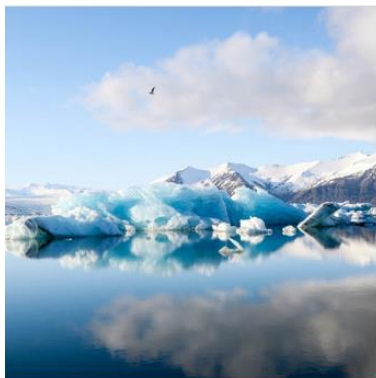
The depiction and use of boundaries, geographic names and related data shown on maps are not warranted to be error free nor do they necessarily imply official endorsement or acceptance by the WMO.



X close

We provide authoritative information about the past, present and future climate, as well as tools to enable climate change mitigation and adaptation strategies by policy makers and businesses.

Key products and services



Climate bulletins



Climate Data Store



Data in action



In focus

The European State of the Climate 2018, an essential snapshot of the region and a useful benchmark for future assessments of the environment.

Read More ▶

DATA

ENES Model Data and

Metadata

ENES Data Infrastructure

Support Services on Data  
and Metadata

Data discovery

Climate4Impact portal

■ Analysis Platforms

Application Procedure  
for the ENES Analysis  
Platforms

FAQs

Derived data products

Metadata services

Data publication

You are here: Home » Data » Support Services on Data and Metadata » Analysis Platforms

Search Site

OK

## Analysis Platforms for CMIP6 and CORDEX

last modified Oct 29, 2019 05:37 PM

### Trans-national Access (TNA) First Call




# New service for data near climate multimodel analyses

#### SUPPORTING THE NEW CMIP6

Apply for virtual workspaces and directly access compute facilities with locally maintained CMIP and CORDEX data pools without the need of downloading model data

**First Call Deadline EXTENDED: 11 of November 2019**



The climate modelling community faces the challenges of contributing to the next assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change through the 6th phase of the Coupled Model Intercomparison Project  CMIP. The ENES

# Step to climatic services

COMMUNITY

SERVICES

MODELS & TOOLS

DATA

COMPUTING

CONTACT



## DATA

ENES Model Data and Metadata

ENES Data Infrastructure

Earth System Grid Federation

Earth System Documentation

■ Climate4Impact portal

IPCC Data Distribution Centre

Data Processing Tools

Support Services on Data and Metadata



You are here: Home » Data » ENES Data Infrastructure » Climate4Impact portal

## Climate4Impact Portal

last modified May 03, 2019 11:00 AM

### A portal and platform of services for the climate change impact community

🌍 **Climate4Impact** is a portal and platform for the climate change impact community:

- targeting climate change impact modellers, impact and adaptation consultants, as well as other experts using climate change data;
- providing **access to data** and **quick looks** of **Global** and **Regional Climate Models** as well as some **downscaled higher resolution climate data**;
- providing **remote data processing capabilities** without the need of downloading input data;
- covering several themes:  
Agriculture, Forestry, Energy, Health, Infrastructure, Urban, Tourism, Water Management, Marine, Coastal, Nature, and Biodiversity.

Climate4Impact is being developed as part of the ENES data infrastructure (IS-ENES) project. Find more on the Climate4Impact IS-ENES support services [here](#).

Search Site

OK





Климатический анализ ▾

Образовательные ресурсы ▾

Для населения

Изменения климата и адаптация ▾

Глоссарий

Ссылки

Архив климатических характеристик



RU EN



КЛИМАТ

## КЛИМАТ

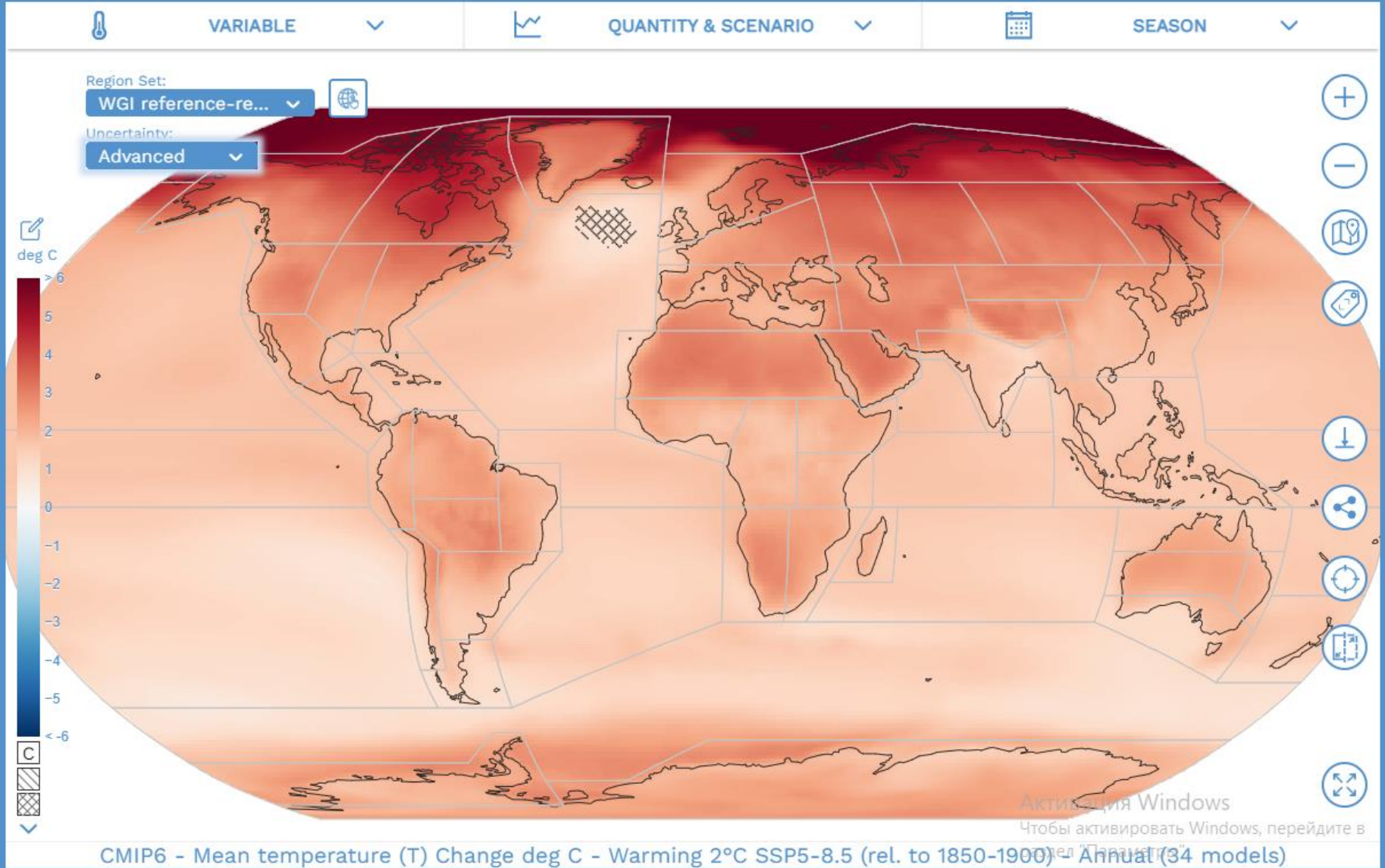
Специализированный геопортал для анализа региональных климатических и экологических изменений обеспечивает доступ к ресурсам четырем категориям пользователей.

- Специалистам в профильных и смежных областях портал предоставляет доступ к инструментарию для поддержки моделирования и мониторинга региональных климатических изменений на основе сервисов пространственных данных в разделе **"Климатический анализ"**.
- В разделе **"Образовательные ресурсы"** студентам и аспирантам профильных ВУЗов доступен курс и практические задания, основной целью которых является всесторонний анализ современных климатических изменений и их возможных последствий.
- Раздел **"Для населения"** содержит базовый информационный курс по климатическим изменениям для широких слоев населения. В рамках курса излагаются и популярно иллюстрируются основные понятия и проблемы современных климатических изменений и их возможных последствий.
- Раздел **"Изменения климата и адаптация"** для лиц, принимающих решения, предлагает готовые пакеты данных по ключевым характеристикам и экстремальным проявлениям климата в различных форматах для скачивания и дальнейшей работы с ними в настольных ГИС.

По умолчанию портал предоставляет доступ к демо-версии инструментария. Полная функциональность портала обеспечивается только для авторизованных пользователей. Авторизация проводится в разделе, помеченном иконкой



в верхнем правом углу экрана. Для регистрации пожалуйста свяжитесь с администратором портала [webmaster@scert.ru](mailto:webmaster@scert.ru).



<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>



VARIABLE



QUANTITY & SCENARIO



SEASON



Region Set:

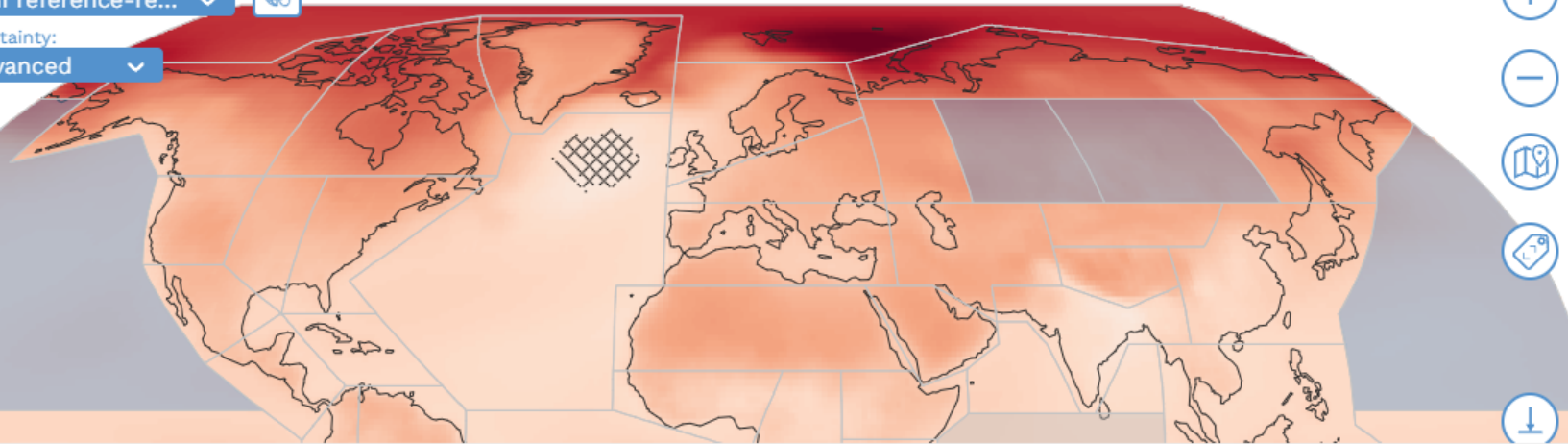
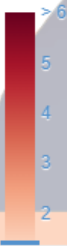
WGI reference-re...

Uncertainty:

Advanced



deg C



CMIP6 - Mean temperature (T) Change deg C - Warming 1.5°C SSP5-8.5 (rel. to 1850-1900) - Annual (34 models)  
Regions: North Pacific Ocean, West Siberia, East Siberia



Time Series



GWL Plot



Annual Cycle



Scatter Plot



Table Summary

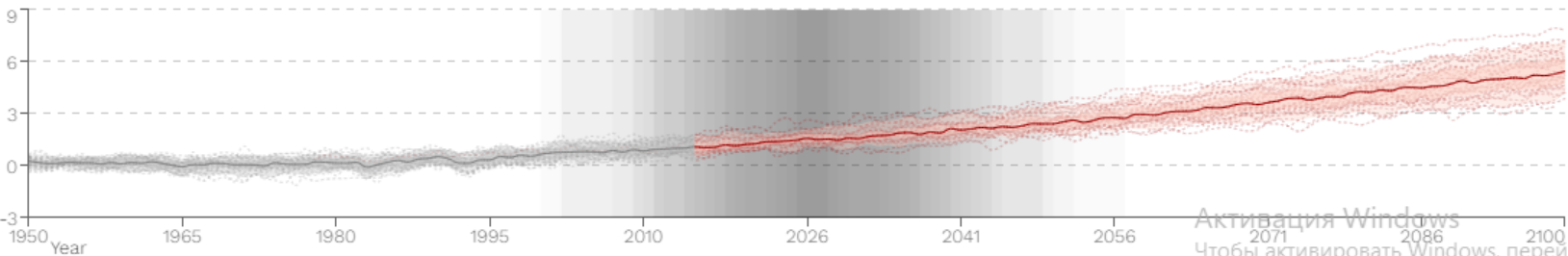


Stripes



Seasonal Stripes

Mean temperature (T) (C)



Активация Windows  
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

Export PDF



Export PNG



Mask: None



Models



# **К цифровым двойникам систем и процессов**

Фундаментально цифровой двойник может быть определён как постоянно меняющийся цифровой профиль, содержащий исторические и наиболее актуальные данные о физическом объекте или процессе.

Он основан на огромном объёме накопленных данных, полученных в ходе предшествующих и текущих измерений и моделирования целого ряда показателей объекта/процесса в реальном мире.

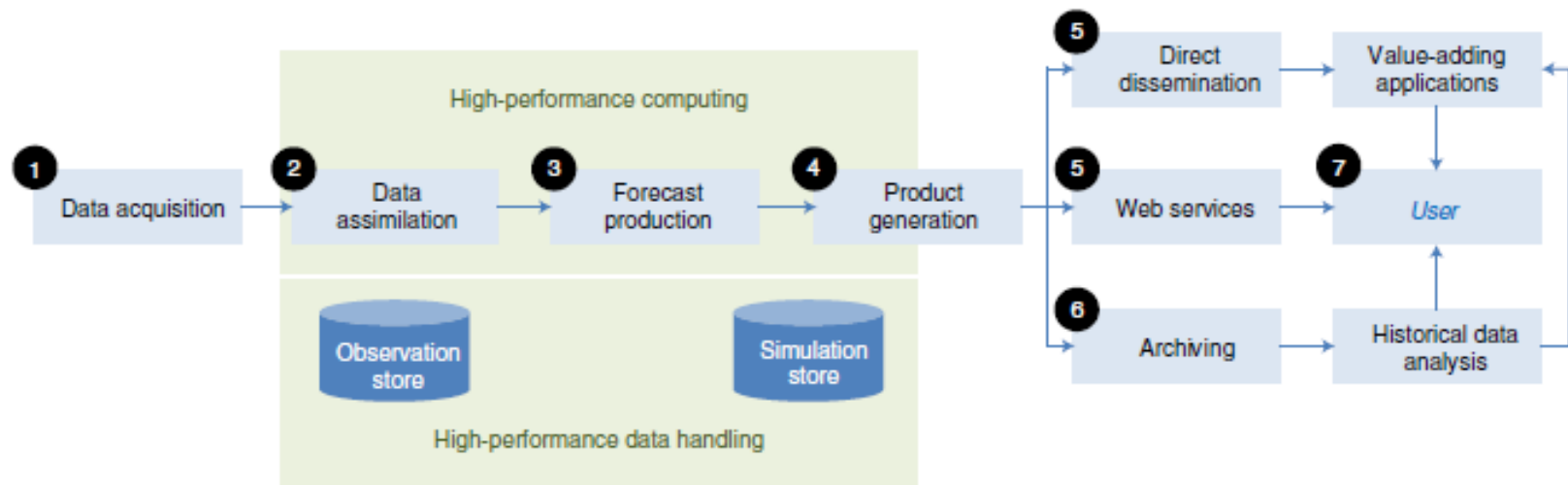
Анализ накопленных и поступающих данных позволяет получать точную информацию о физическом объекте или процессе, а также исследовать возможность управления процессами взаимодействия объекта с другими системами.



# The digital revolution of Earth-system science

Peter Bauer <sup>1</sup>✉, Peter D. Dueben<sup>1</sup>, Torsten Hoefler<sup>2</sup>, Tiago Quintino <sup>3</sup>, Thomas C. Schulthess<sup>4</sup> and Nils P. Wedi<sup>1</sup>

Computational science is crucial for delivering reliable weather and climate predictions. However, despite decades of high-performance computing experience, there is serious concern about the sustainability of this application in the post-Moore/Dennard era. Here, we discuss the present limitations in the field and propose the design of a novel infrastructure that is scalable and more adaptable to future, yet unknown computing architectures.



**Fig. 1 | Typical production workflow in operational numerical weather prediction.** (1) High-volume and high-speed observational data acquisition and pre-processing; (2) data assimilation into models to produce initial conditions for forecasts; (3) forecast production by Earth-system simulation models; (4) generation of output products tailored to the portfolio of weather and climate information users; (5) direct dissemination of raw output and web-products; (6) long-term archiving for reuse in statistical analyses and performance diagnostics; (7) user-specific applications and data-driven analytics.

# EU Megaproject Destination earth (Destine)

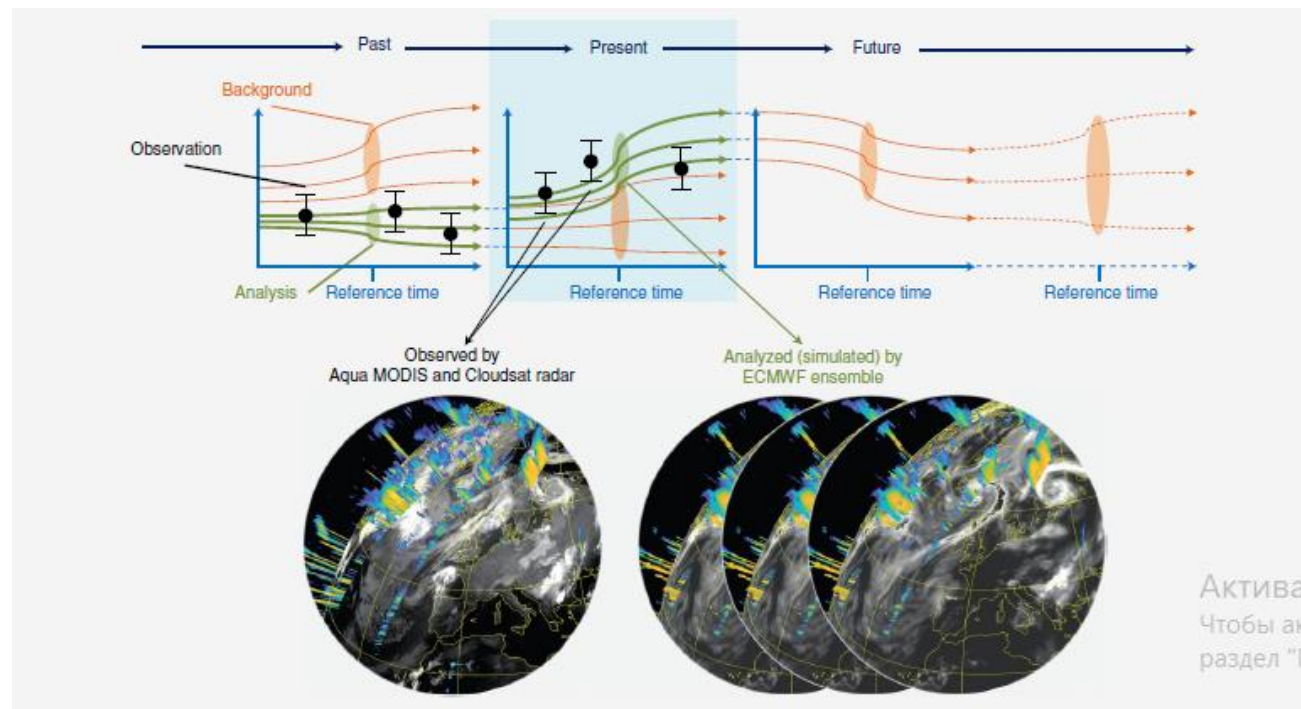
“The objective of the Destination Earth initiative is to develop a very high precision digital model of the Earth to monitor and simulate natural and human activity, and to develop and test scenarios that would enable more sustainable development and support European environmental policies.

At the heart of Destination Earth will be a federated cloud-based modelling and simulation platform, providing access to data, advanced computing infrastructure (including high performance computing), software, AI applications and analytics. The digital twins created in DestinE will give users access to high-quality information, services, models, scenarios, forecasts and visualizations. Digital twins are based on the integration of continuous observation, modelling and high-performance simulation, resulting in highly accurate predictions of future developments.”\*



Implementation: 2021-2030

Optimally combined simulations and near-real-time observations to monitor the evolution of the Earth system. For each cycle, the simulation generates a background forecast ensemble (orange arrows) of the Earth system, which is compared to observations (black dots) throughout a time window and eventually corrected to an analysis ensemble (green arrows), which fits the observations better than the background. Uncertainties of forecasts (ellipses) and observations (error bars) are fully taken into account from ensembles, which are multiple, perturbed realizations of both model and observations.



**Peter BAUER**, Deputy Director of Research and Manager of the Scalability Programme at ECMWF

DestinE is not about running bigger problems on bigger computers, but creating open & flexible software infrastructures that allow non-experts to intervene in a workflow at a point and thus at a level of complexity which matches the specific interest and background of a user. This needs an open and flexible software infrastructure,

Voosen, P. Europe is building a 'digital twin' of Earth to revolutionize climate forecasts. *Science* <https://doi.org/10.1126/science.abf0687> (1 October 2020)

Palmer, T., Stevens, B. & Bauer, P. We Need an International Center for Climate Modeling. *Scientific American* <https://blogs.scientificamerican.com/observations/we-need-an-international-center-for-climate-modeling/> (18 December 2019)

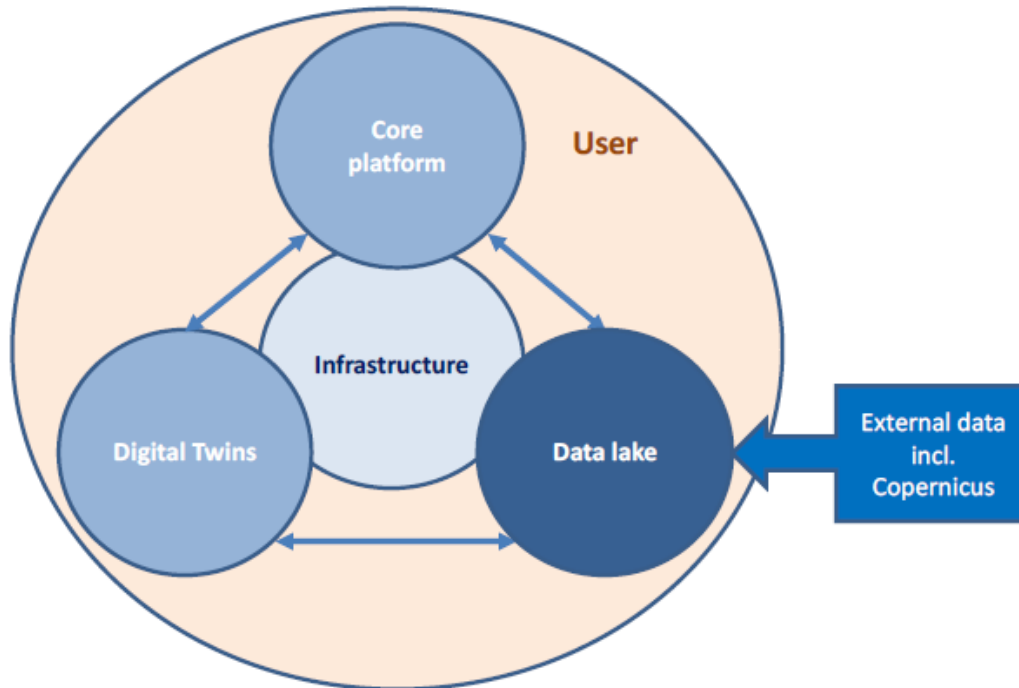
# Digital Twins in DestinE

*Peter Bauer*

*ECMWF*

## Digital Twins

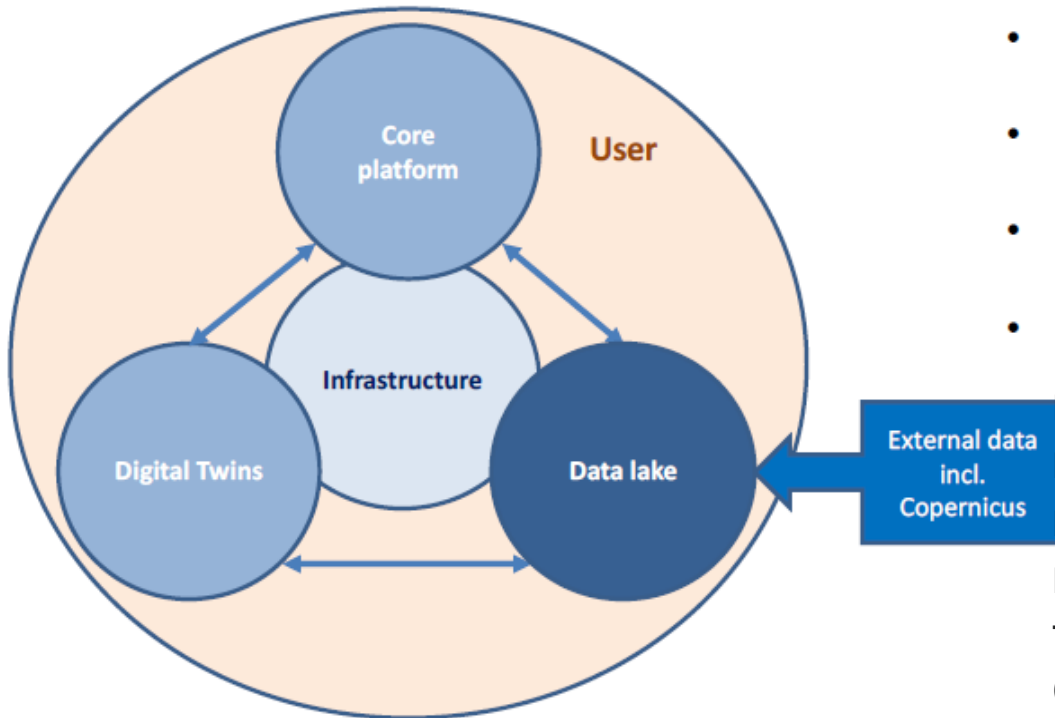
---



### 2 high-priority Digital Twins:

- 1. Weather-induced and Geophysical Extremes:**  
Environmental extremes at very high spatial resolution and close to real-time decision-making support at continental, country, coastline, catchment and city scales in response to meteorological, hydrological and air quality extremes.
- 2. Climate Change Adaptation:**  
Climate change adaptation policies and mitigation scenario testing at decadal timescales aiming at a real breakthrough at the level of reliability at regional and national levels, for understanding the causes and explaining the feedback mechanisms of change, and predicting possible evolution trajectories

## Core Platform



- Portal to Users
- User Hosting (user space: MyDestinE)
- Catalogue and data access services
- PaaS & SaaS for analytics and modelling
- Community management (market place, annotations, open source)
- Advanced interface for interactive modelling (system dynamic, 3D,...)
- Operate the User Data API for Data Lake access and User DTs interface for on-demand production
- **PaaS** (Platform as a Service) — модель предоставления облачных вычислений, при которой потребитель получает доступ к использованию информационно-технологических платформ: ОС, СУБД, ПО, и т.д.

**SaaS** (*software as a service* — одна из форм облачных вычислений, модель обслуживания, при которой подписчикам предоставляется готовое прикладное программное обеспечение, полностью обслуживаемое провайдером.

# Роль пользователя!

## Core Platform

---

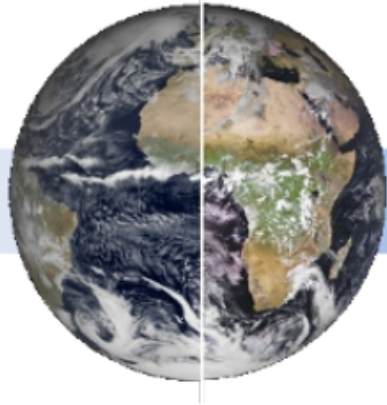
**Users make use of the DestinE Core Service Platform (DESP) to produce answers to their problems\***

Platform combines generic & user specific services ... ... in a user customizable environment to :

- Unified access to data generated or collected/referenced by DestinE
- Applications to support development / modelling / analysis / visualization
- On-demand DT simulation / data retrieval / data transformation
- Develop & operate own applications / services
- Share results / data / applications / libraries

# Digital Twin production

simulations observations



continuous real-time prediction cycle

continuous real-time monitoring cycle

time

**on-demand, USER driven:**

- regional, hyper-resolution
- more frequent updates
- added data
- impact sector specific extensions
- adaptation/mitigation scenarios

**on-demand, EVENT driven:**

- regional, hyper-resolution
- more frequent updates
- added data
- impact sector specific extensions
- adaptation/mitigation scenarios

extreme event

X

## Ситуация в России

### Проект «Цифровое поле» (Сколтех, И. В. Оселедец)

Плодородность почв и урожайность можно повысить с помощью технологии цифровых двойников. Российские ученые разработали программно-технический комплекс, который позволяет планировать посе́вы и посадки различных культур с учетом климатических условий и других внешних факторов с высокой точностью. Исследователи уверены, что цифровое решение поможет не только увеличить прибыль агрокомплексов и ферм по всей стране, но и улучшить общее состояние пригодных для сельского хозяйства земель, что стратегически важно для России.

# Федеральный проект «Цифровой Обь-Иртышский бассейн»

Проект:

Федеральный проект по созданию основанной на больших данных системы комплексного управления водными ресурсами крупнейшего в России и третьего по величине в мире – Обь-Иртышского речного бассейна



Направление НПТ:

Цифровое проектирование и моделирование

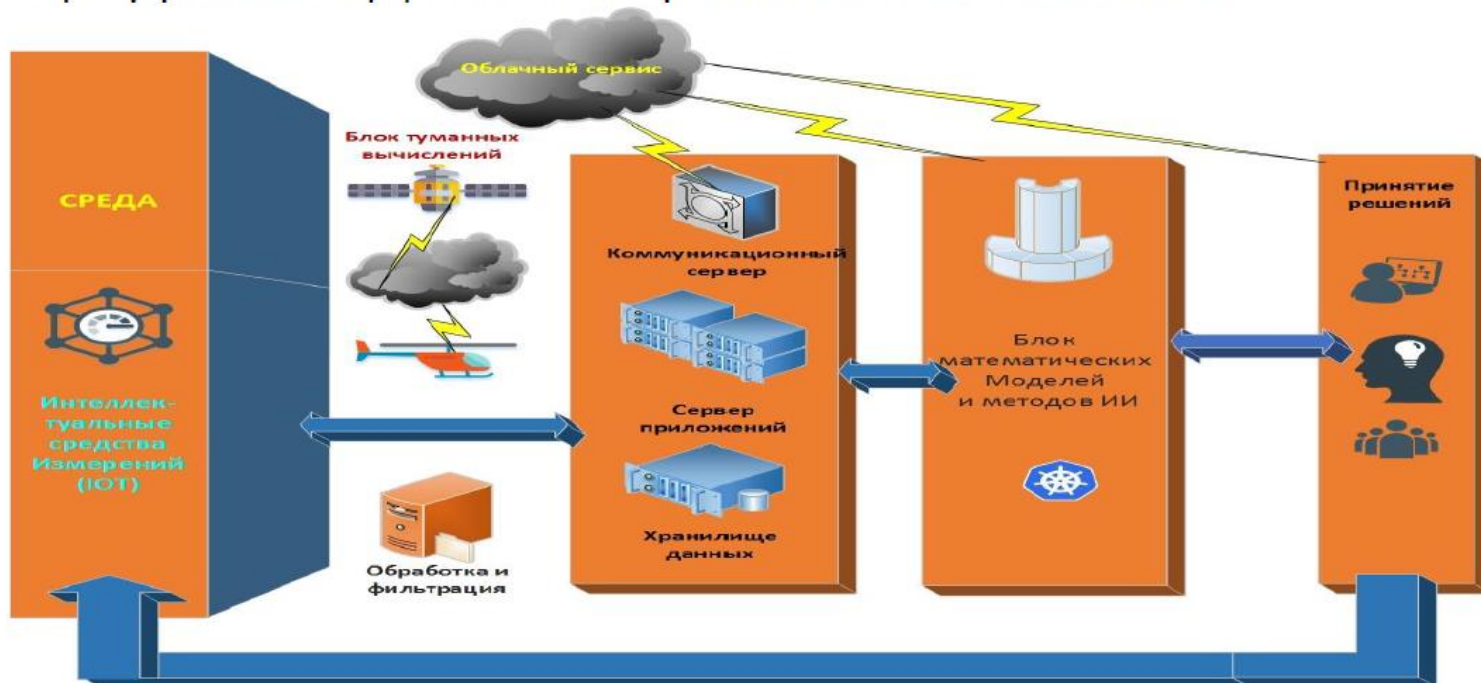
Центр НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» в качестве технологического координатора и исполнителя проекта участвует в разработке уникального федерального проекта по созданию основанной на больших данных системы комплексного управления водными ресурсами крупнейшего в России и третьего по величине в мире – **Обь-Иртышского речного бассейна**.

Проект был инициирован губернатором Кузбасса **Сергеем Цивилевым** в **марте 2019 года**, в его реализацию вовлечены **12** регионов Западной Сибири и Урала (Кемеровская область-Кузбасс, Томская, Новосибирская, Омская, Челябинская, Свердловская, Курганская, Тюменская области, ХМАО-Югра, ЯНАО, Алтайский край, Республика Алтай). Он направлен на оздоровление **Обь-Иртышского бассейна** и его основных рек – Обь, Иртыш, Томь, Тобол, Миасс и Тура.

В.П. Потапов (ФИЦ ИВТ)

Проект Минприроды «Цифровой Обь-Иртышский бассейн»

## Цифровой двойник речного бассейна



# В России создается сеть карбоновых полигонов для мониторинга парниковых газов

15.07.2021 / 09:37



Создание системы мониторинга на специальных площадках, "карбоновых полигонах", где можно изучать работу конкретных экосистем.

В Минобрнауки РФ утвержден проект по созданию карбонового полигона в Томской области. Проект предполагает не только ведение мониторинга эмиссии климатически активных газов, но и разработку технологий их улавливания, хранения и нейтрализации.

Междисциплинарная команда: Томский государственный университет, [ИОА СО РАН](#), [ИМКЭС СО РАН](#), [ИХН СО РАН](#), [СибНИИСХиТ](#) – филиал СФНЦА РАН.

Задачи:

Развитие существующей системы наземных измерений потоков климатически активных газов на основе пульсационных и камерных измерений.

Развитие системы прогнозирования и раннего обнаружения лесных пожаров.

Разработка междисциплинарных образовательных программ для подготовки специалистов в области климатических исследований.

## Цифровые двойники для достижения целей карбоновых полигонов

- Инструментальный мониторинг требует наличия моделей, позволяющих восстанавливать всю картину на основе текущих локальных измерений.
- Для сбора данных со множества различных датчиков необходимо использование систем интернета вещей (Internet of Things, IoT), в рамках которого осуществляется их сбор, сохранение и агрегация.
- Для понимания механизмов процессов необходим анализ исторических данных наблюдений и моделирования, а для прогноза и возможного управления обменами парниковыми газами экосистем и атмосферы - анализ результатов прогноза.
- По сути, необходимо решить задачу оперативного анализа больших архивов и квазинепрерывного потока текущих данных мониторинга и моделирования и прогнозных данных моделирования – ниша для машинного обучения.

# Заключение

Развитие информационно-вычислительных технологий для наук об окружающей среде (модели, усвоение данных, виртуальная исследовательская среда с облачными хранилищами и вычислениями, Интернет вещей и машинное обучение), в целом создает необходимую основу для создания цифровых двойников экосистем (поля, луга, болота, водоемы, и т.д.), решающих задачу мониторинга и контроля обменами парниковыми газами экосистем и атмосферы.

Цифровые двойники процессов и систем должны стать инструментом для адаптации к климатическим изменениям, контроля и, в конечном счете, управления вкладом поверхности в баланс углерода.

На этой основе можно реализовать программы компенсации индустриальных выбросов парниковых газов, необходимой для перехода к «зеленой» экономике.



**Спасибо за внимание!**