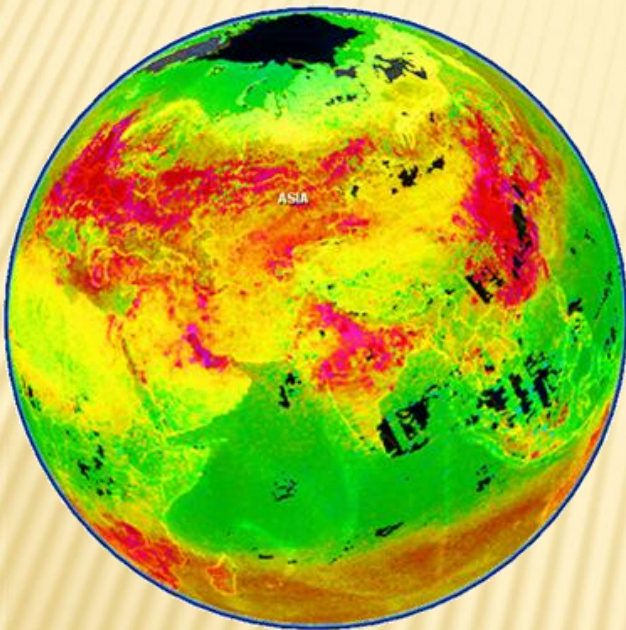
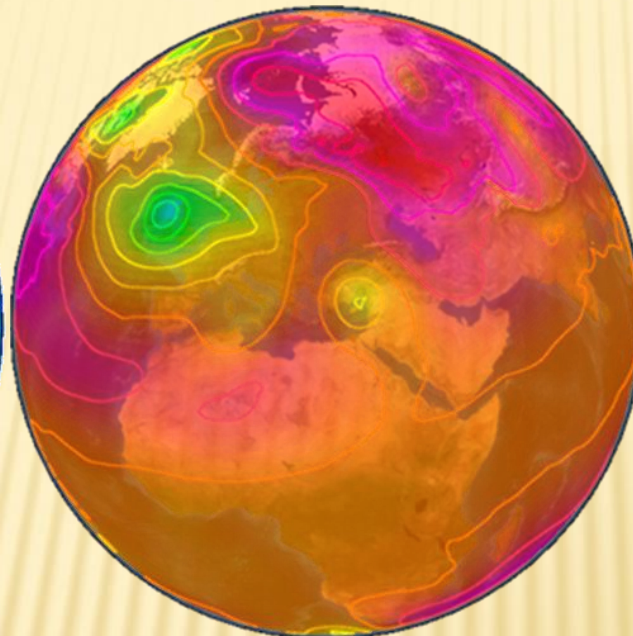


# ПЕРЕДАЧА, 3D ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И АНАЛИЗ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И РЕАНАЛИЗА КЛИМАТА НА РЕГУЛЯРНЫХ ШИРОТНО-ДОЛГОТНЫХ СЕТКАХ

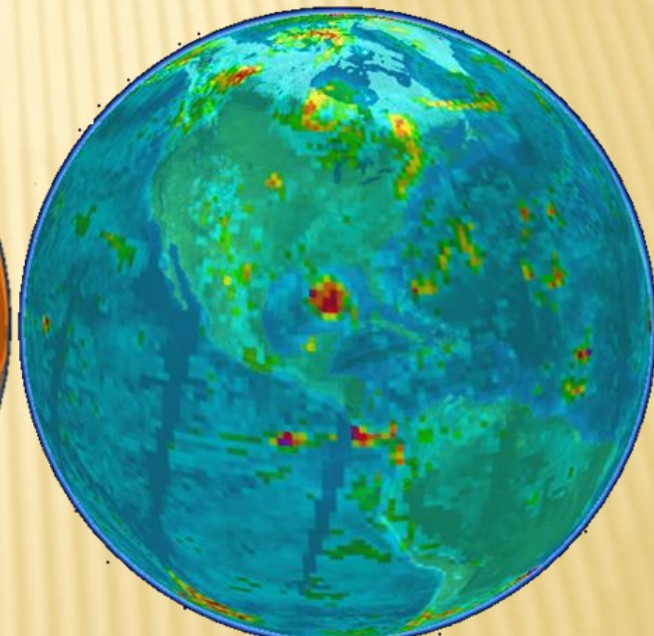
XIV Всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", Институт космических исследований РАН, 2016, 14–18 Nov., Moscow, Antonio Rodrigues [rodrigues@wikience.org](mailto:rodrigues@wikience.org)



**Aura OMI NO<sub>2</sub>**



**AMIP/DOE R2**  
Mean sea level pressure



**Terra MODIS**  
Cloud optical thickness

# ПЛАН ДОКЛАДА

---

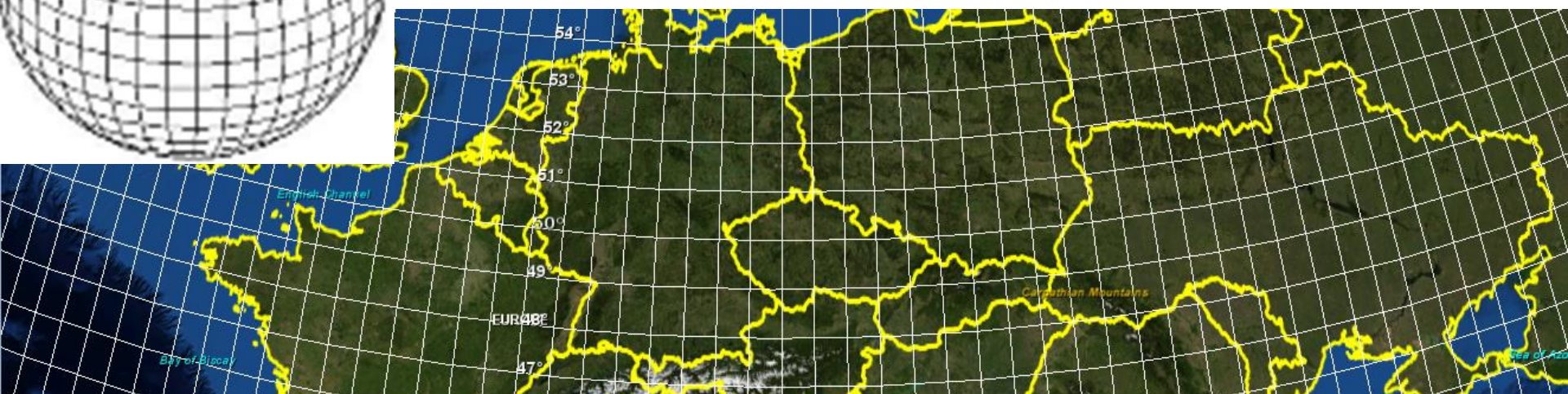
1. Данные и проблемы их обработки
2. ChronosServer (передача)
3. ClimateWikience (визуализация)
4. Связка с R (анализ)
5. Сайт [wikience.org](http://wikience.org), видео, брошюра
6. Дальнейшая работа

# Данные



# Регулярная широтно-долготная сетка

В каждой(ом) ячейке (узле) сетки – значение



Оптическая толщина аэрозоля,  $1^\circ \times 1^\circ$

# Данные ДЗЗ: trace gases, aerosol

Показатель	Погрешность и ед. изм.		КА (прибор)	Разрешение (≈ км, 48° lat)	Начальная дата
Диоксид серы (SO <sub>2</sub> )	5	ед	Aura (OMI)	0,25° × 0,25° 27,5 × 18 км	01.10.2004 daily, global
Диоксид азота (NO <sub>2</sub> )	–				
Озон (O <sub>3</sub> )	6				
Оптическая толщина аэрозоля, ОТА (для 0,55 мкм)	15%	–	Terra (MODIS)	1,0° × 1,0° 110 × 72 км	02.03.2000 daily, global
Озон (O <sub>3</sub> )	–	ед			
Оксид углерода (CO)	10%	ед	Terra (MOPITT)	1,0° × 1,0° 110 × 72 км	03.03.2000 daily, global
Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	2	ppm	Aqua (AIRS)	2,0° × 2,5° 220 × 144 км	01.01.2004 daily, global

# Данные реанализа климата

Сокращенное название	Организация	Пространственное разрешение	Период
NCEP/NCAR R2	NCEP	2.5° × 2.5°	1979 – н.в.
ERA-Interim	ECMWF	1.5° × 1.5°	1979 – н.в.
MERRA	NASA	2/3° × 1/2°	1979 – н.в.
20CR	NOAA	2.0° × 2.0°	1869 – 2012
CFSR	NCEP	0.25° × 0.25°	1979 – 2009

[-] Modis L3 Atmosphere

[-] AEROSOL

[+] LAND AND OCEAN

[+] LAND ONLY

[+] OCEAN ONLY

[-] WATER VAPOR

[+] Near Infrared

[+] Atmospheric

[+] CLOUD

[+] Cirrus

[+] Top Temperature

[+] Top Pressure

[+] Optical Thickness

[+] Effective Radius

[+] Effective Emissivity

[+] Water Path

[+] Fraction

[-] ATMOSPHERE PROFILE

[+] Total Ozone

[+] Total Totals

[+] Lifted\_Index

[+] Retrieved\_Temperature\_Profile

[+] Azimuth

[+] Zenith

# MODIS Atmosphere

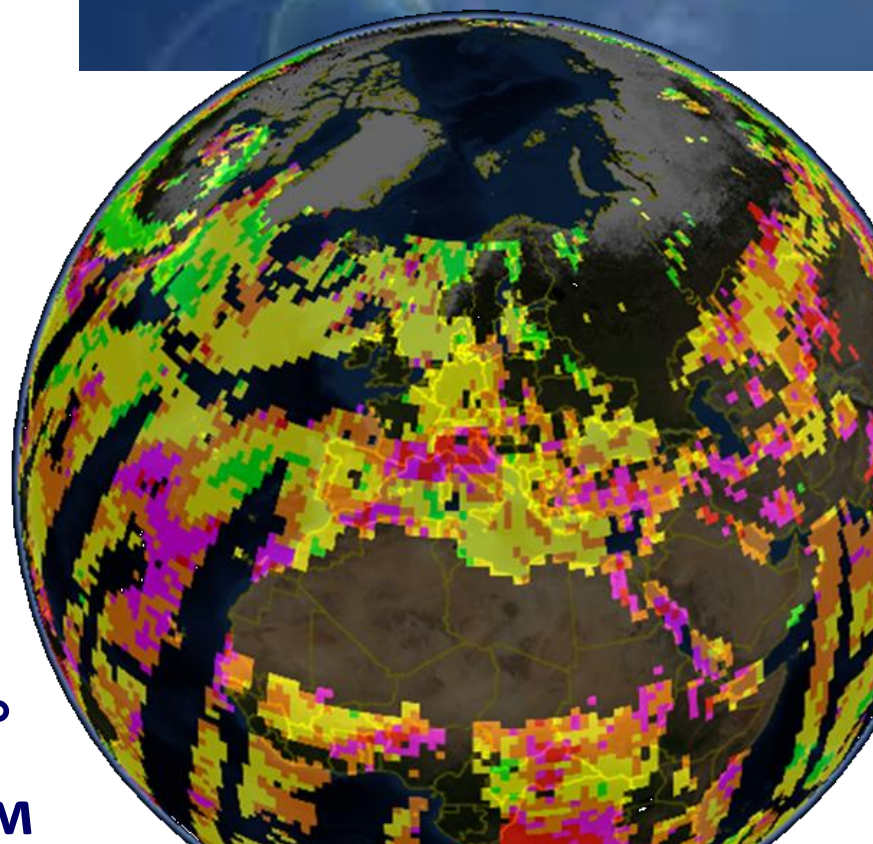
Более **600**  
параметров  
аэрозолей,  
водяного  
пара,  
облаков, ....

- Частота:  
**ежедневно**

- Покрытие:  
**глобально**

**1,0° × 1,0°**

**110 × 72 км**



# Проблемы использования данных

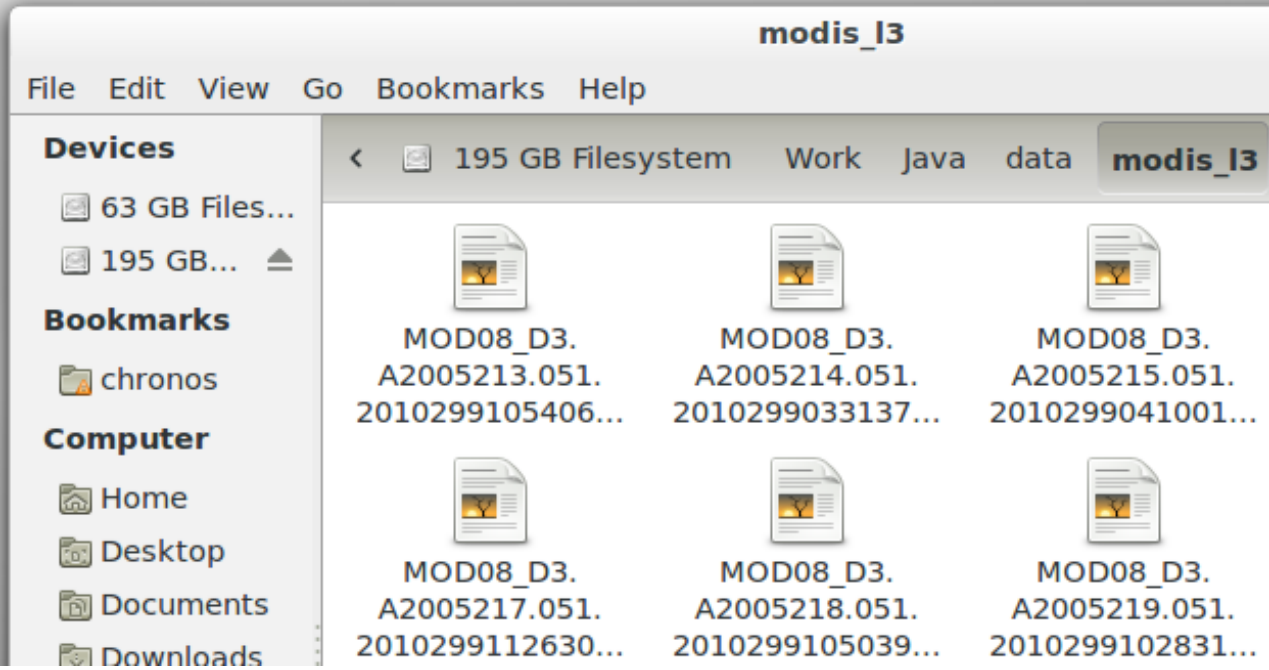
## Данные бесплатны, но....

- Большие объемы данных (терабайты)
  - MERRA – 24 TB
  - CFSRR – 100 TB
  - (числа старые – сегодня больше)
- Разнообразиие форматов и структур данных (при тех же форматах)
  - HDF, NetCDF, GRIB
- Крайняя сложность организации доступа
  - Много этапов, заказ отдельных файлов, много ручного труда
- Разобщенность систем хранения, визуализации и анализа
- Обработка данных: в основном скрипты



# 1000 файлов

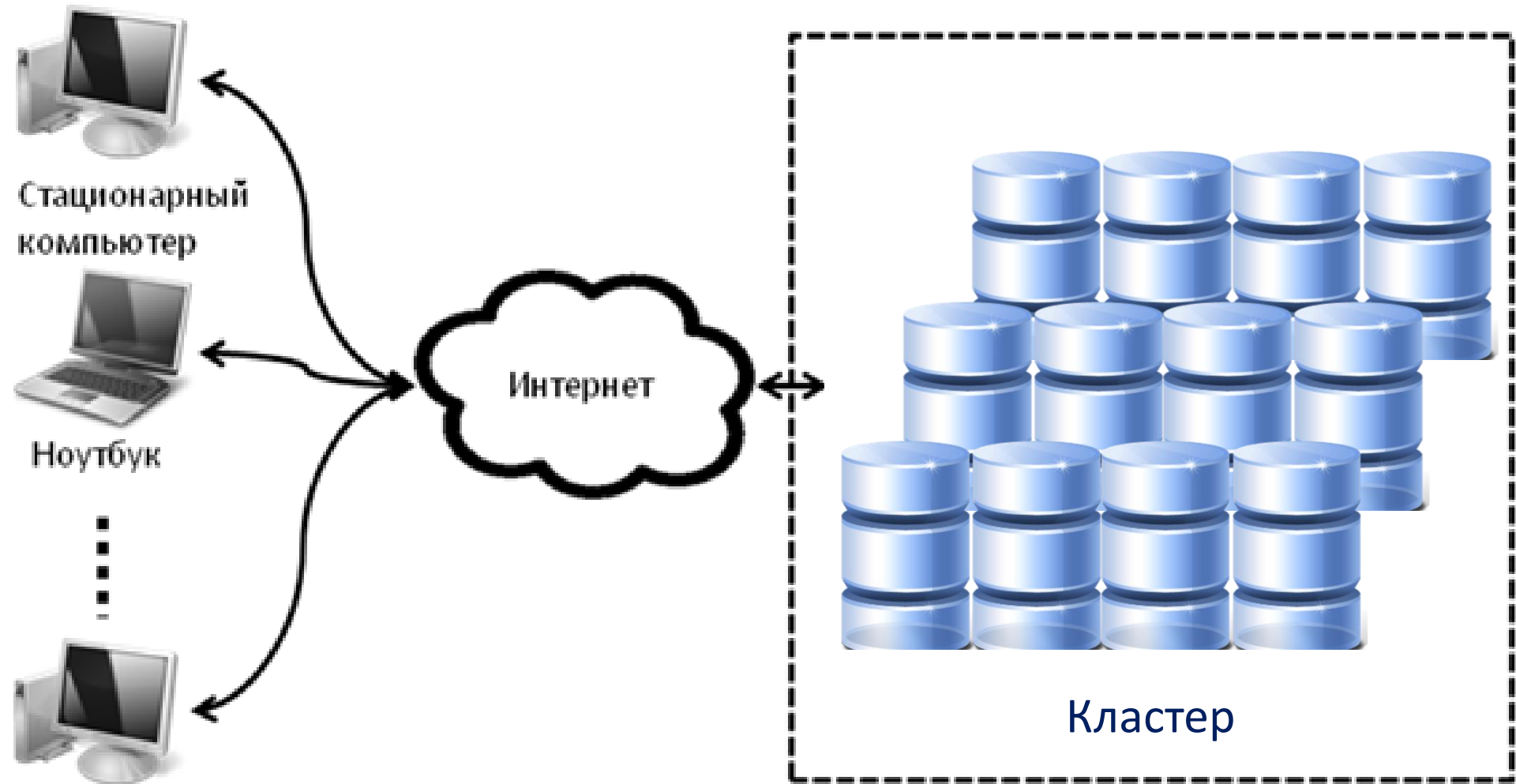
Сложные имена,  
разные системы  
координат, форматы,  
типы данных, ...



Product	Period	Datasets	Format	File name example
AMIP/DOE Reanalysis 2	Year, 6 hours	1	NetCDF	uwnd.10m.gauss.1979.nc uwnd.10m.gauss.1980.nc
MODIS L3 Atmosphere	Day, Day	> 600	HDF4	MOD08_D3.A2000061.051.2010273 210218.hdf
CFSR	Month, 1 hour	1	Grib2	ocnsst.l.gdas.198401.grb2 ocnsst.l.gdas.198402.grb2
MERRA	Day, 1..24 hrs	1..*	HDF4	MERRA200.prod.assim.tavg1_2d_lnd _Nx.20000718.hdf
Aura satellite, OMI radiometer	Day, Day	14	HDF5	OMI-Aura_L3- OMSO2e_2004m1001_v003- 011m0526t144250.he5

# ChronosServer

# ХроносСервер

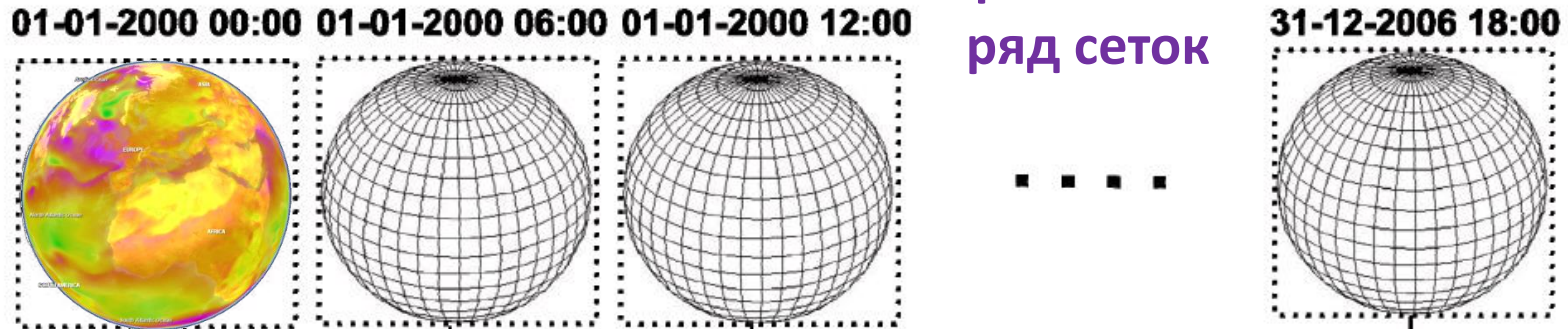


high performance data dissemination,  
нет мировых аналогов (единственная  
распределенная in-situ file-based access)

```
SELECT DATA
FROM r2.wind.10m.u
WHERE TIME = 01.01.2000 00:00
```

# ChronosServer: уровни абстракции

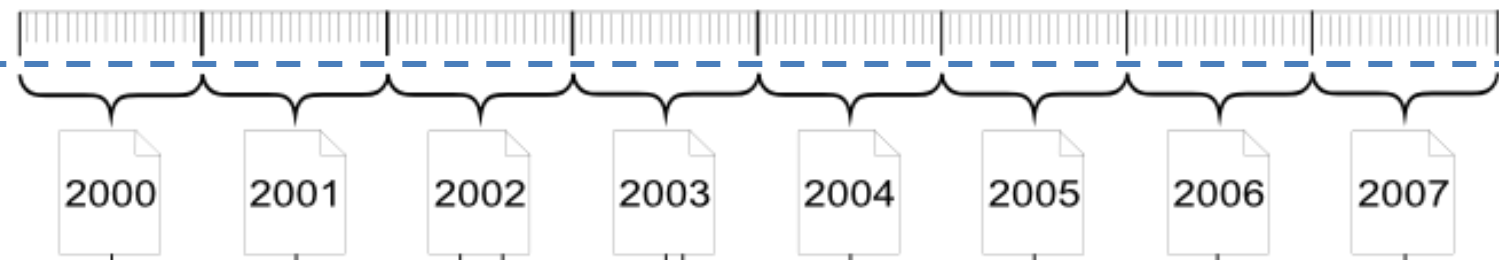
Временной  
ряд сеток



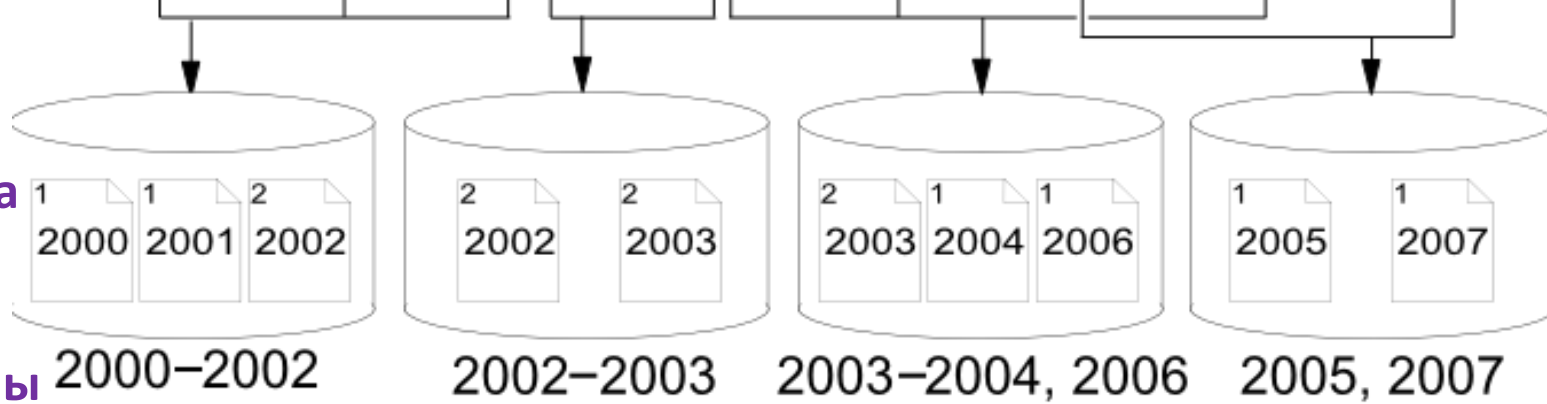
▲  
Модель

2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006

Реальность ▶



N файлов  
различных  
форматов,  
именования на  
K узлах  
кластера,  
реплицированы



# Компьютерный кластер\*

6 + 2 + 2 узлов

- 24 терабайта общий объем HDD
- 1 Gb локальная сеть
- 1 Gb Интернет (оптоволокно)

\* сейчас ChronosServer работает на VPS

```
SELECT DATA
```

```
FROM r2.pressure.msl
```

```
WHERE TIME_INTERVAL =
```

```
01.01.2004 00:00 – 01.01.2006 00:00
```

```
AND REGION = (-90, -180, +90, +180)
```

Analogs: TDS, ERDDAP, GeoServer, ArcGIS  
Image Server – not truly distributed

[www.wikience.org/ru/ХроносСервер/](http://www.wikience.org/ru/ХроносСервер/)

(c) Antonio Rodrigues

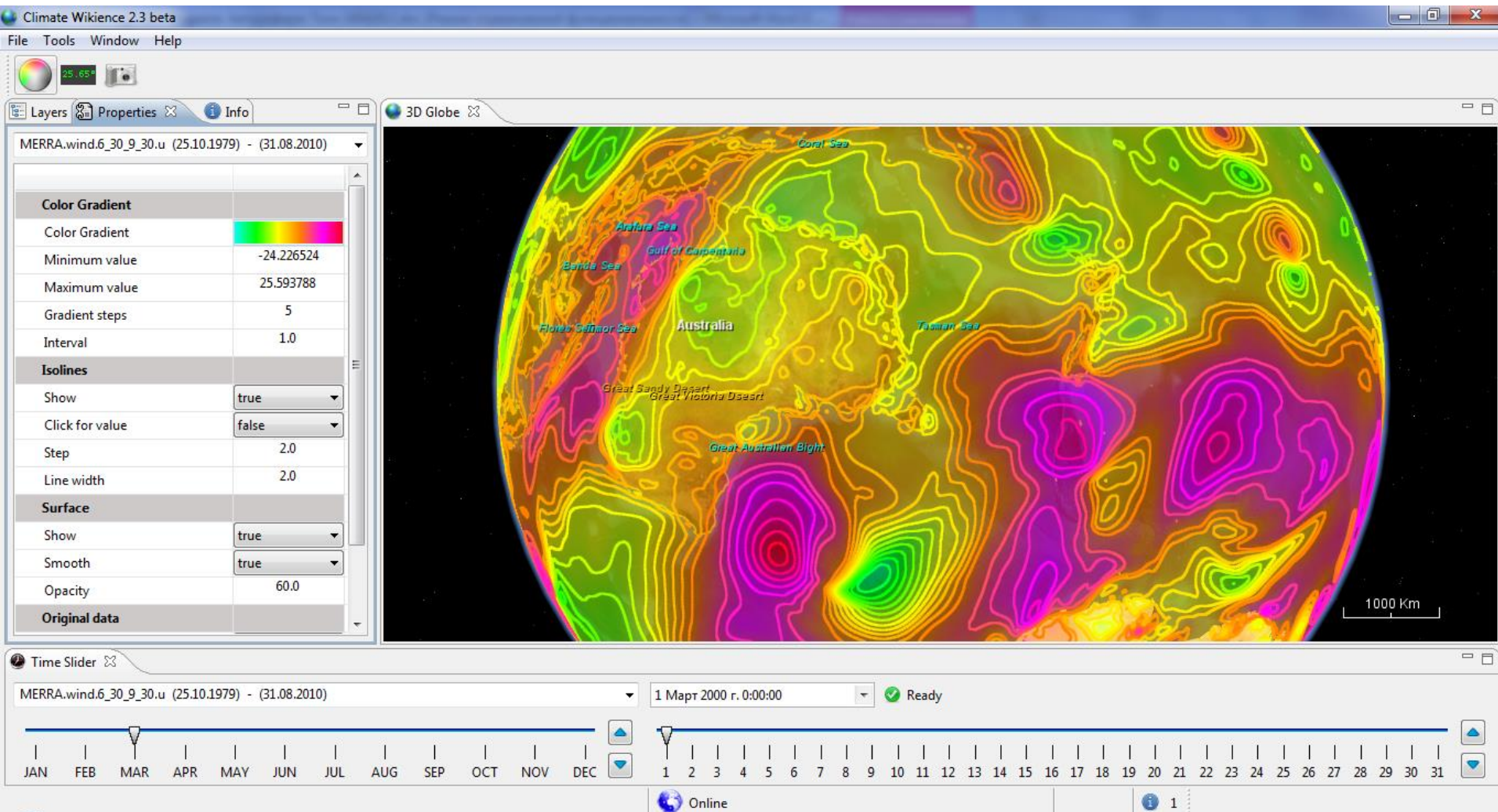


# Выполнение 1-го запроса от 1-го клиента



# Climate Wikience

# Climate Wikience – десктоп приложение



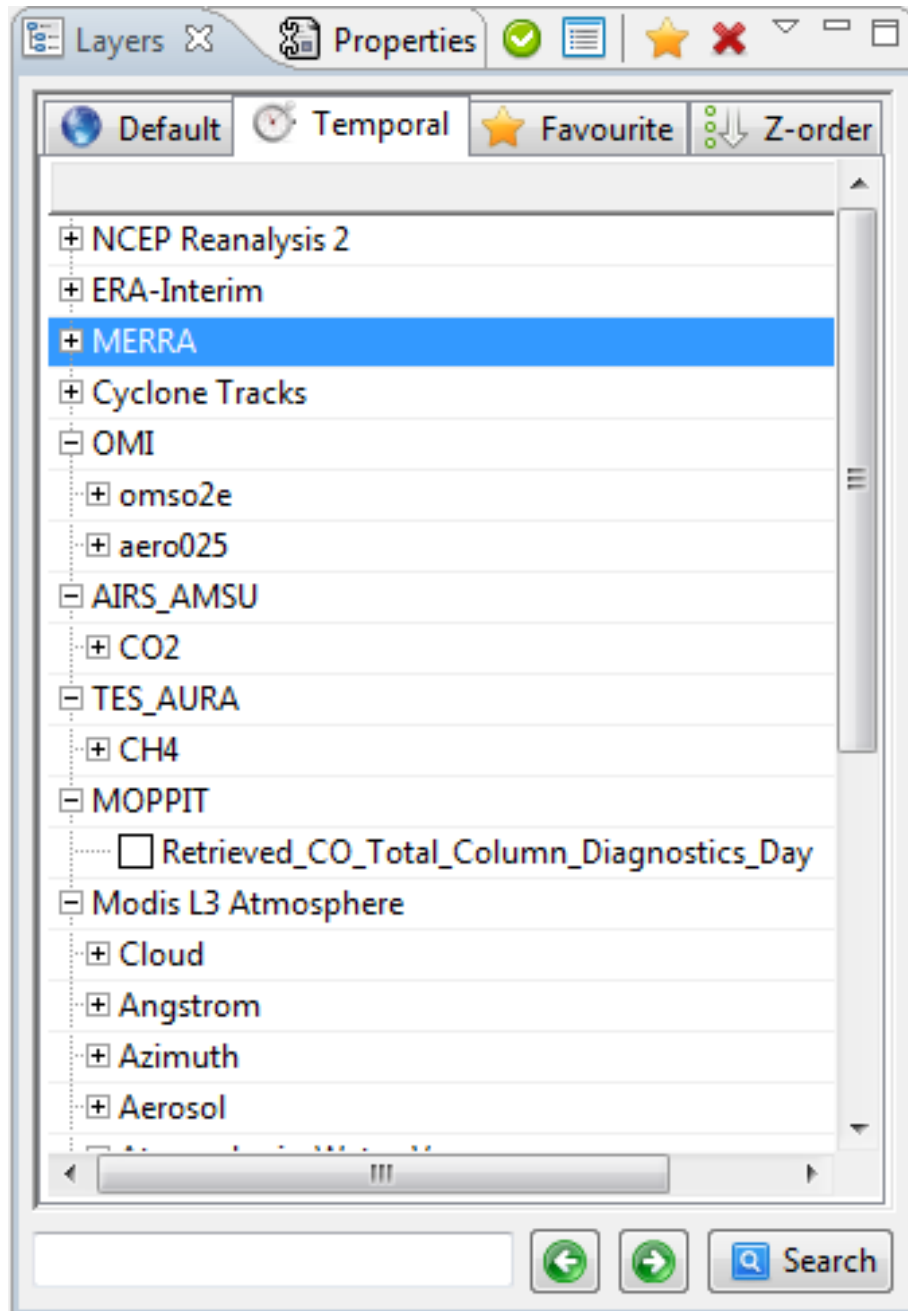
**Новые инструменты навигации в данных**

**Наглядная интерактивная визуализация в 3D**

**Пользователь не взаимодействует напрямую с ХроносСервером**



# Интерфейс Climate Wikience: слои и свойства слоя

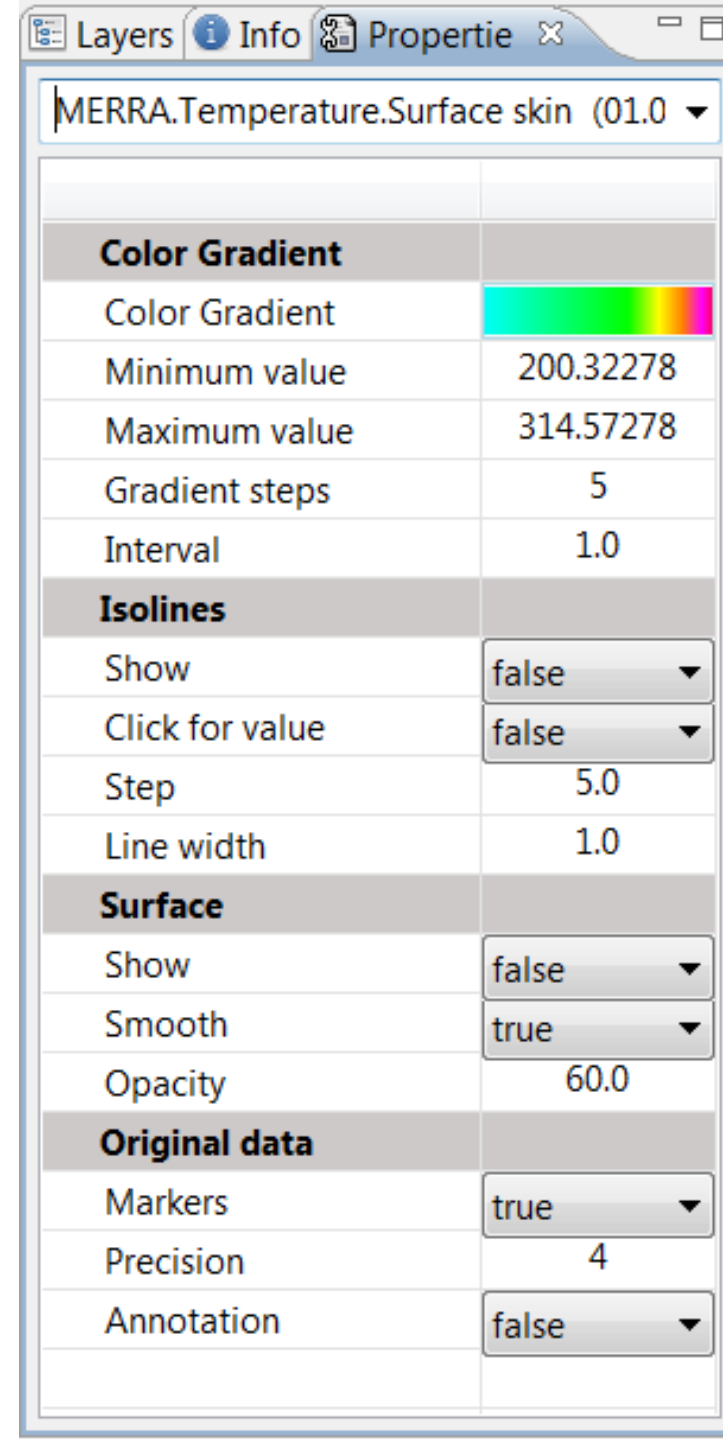



Climate Wikience интегрирует множество данных, которые имеют разные типы и форматы.

Чтобы организовать единообразный доступ ко всем показателям независимо от типа и формата, они были вручную сгруппированы по классам и объединены в единое древовидное представление. Это облегчает ориентацию в данных и позволяет визуализировать любой показатель одним щелчком мыши, выбрав его в дереве.

# Интерфейс Climate Wikience: свойства слоя

- **Color gradient** [подробнее](#)  
Позволяет настроить цвета, в которые окрашиваются [маркеры](#), [изолинии](#), и [поверхности](#).
- **Isolines** [подробнее](#)  
Настраивает отображение [изолиний](#).
- **Surface** [подробнее](#)  
Настраивает отображение [поверхности](#).
- **Original data** [подробнее](#)  
Позволяет отображать дополнительную информацию об исходных данных.

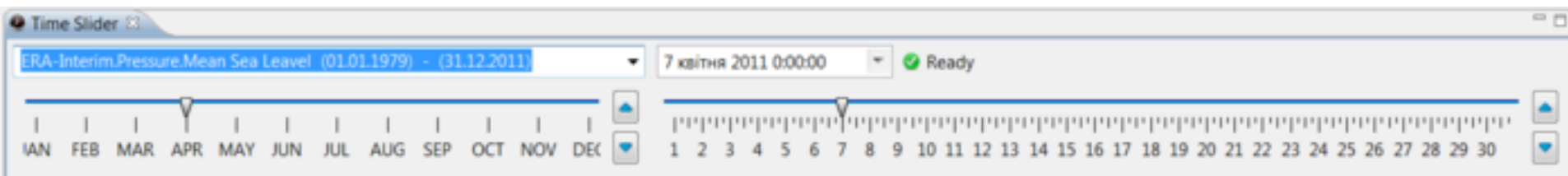
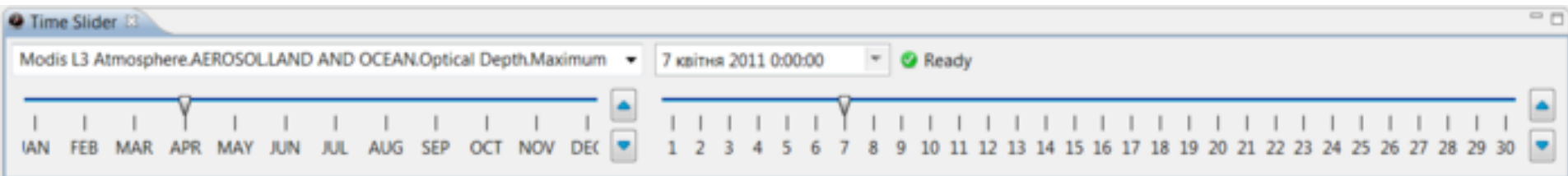


MERRA.Temperature.Surface skin (01.0)	
<b>Color Gradient</b>	
Color Gradient	
Minimum value	200.32278
Maximum value	314.57278
Gradient steps	5
Interval	1.0
<b>Isolines</b>	
Show	false
Click for value	false
Step	5.0
Line width	1.0
<b>Surface</b>	
Show	false
Smooth	true
Opacity	60.0
<b>Original data</b>	
Markers	true
Precision	4
Annotation	false

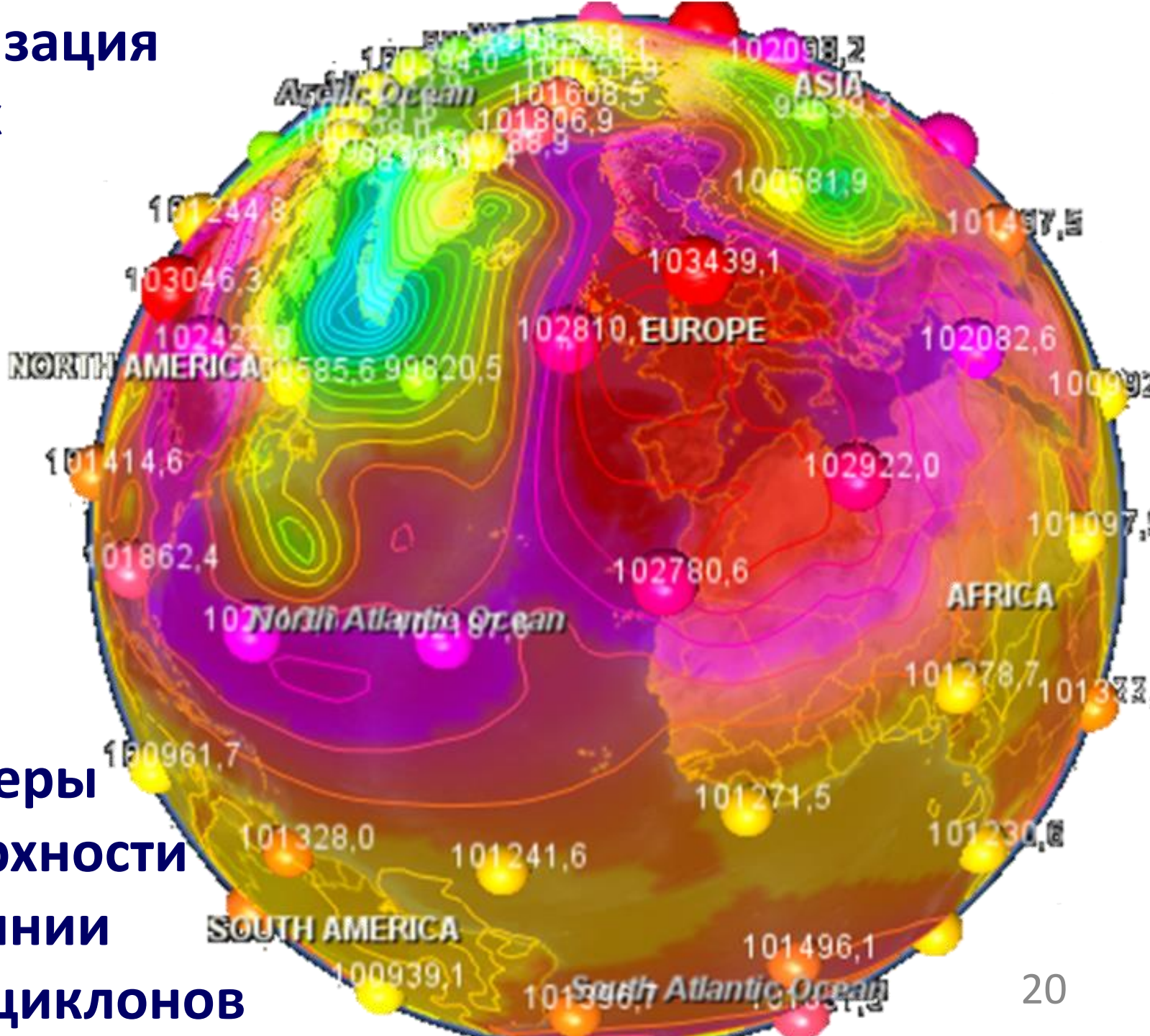
# Временная шкала

Поскольку временное разрешение показателей отличается, временная шкала автоматически подстраивает количество делений на шкале выбора дня и часа для выбранного показателя.

На первом рисунке шкала подстроена под шаг 1 день (оптическая толщина аэрозоля, Terra MODIS), а на втором под шаг в 6 часов (повторный анализ ERA-Interim).



# Визуализация четырех видов:



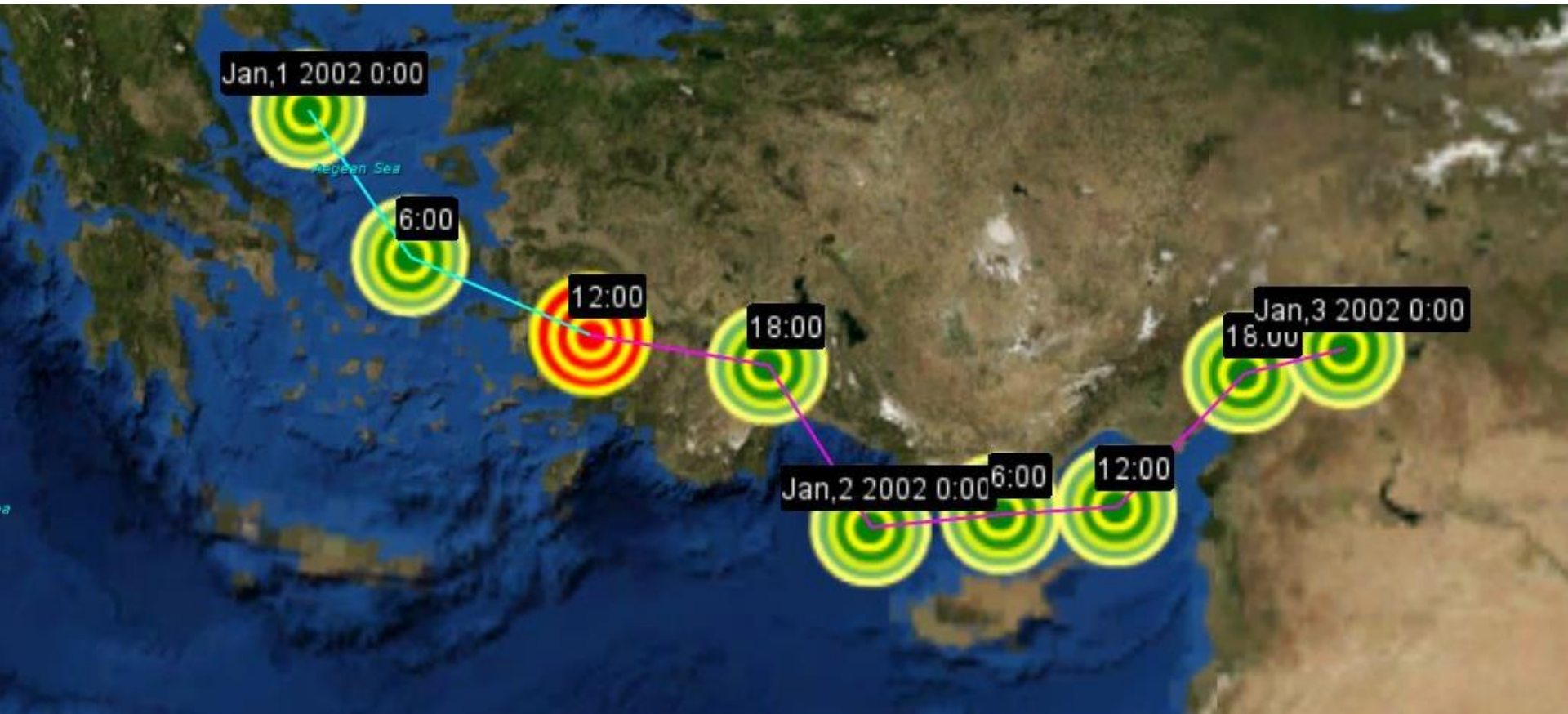
1. Маркеры
2. Поверхности
3. Изолинии
4. Пути циклонов

# Пути циклонов (автоматические процедуры трекинга)

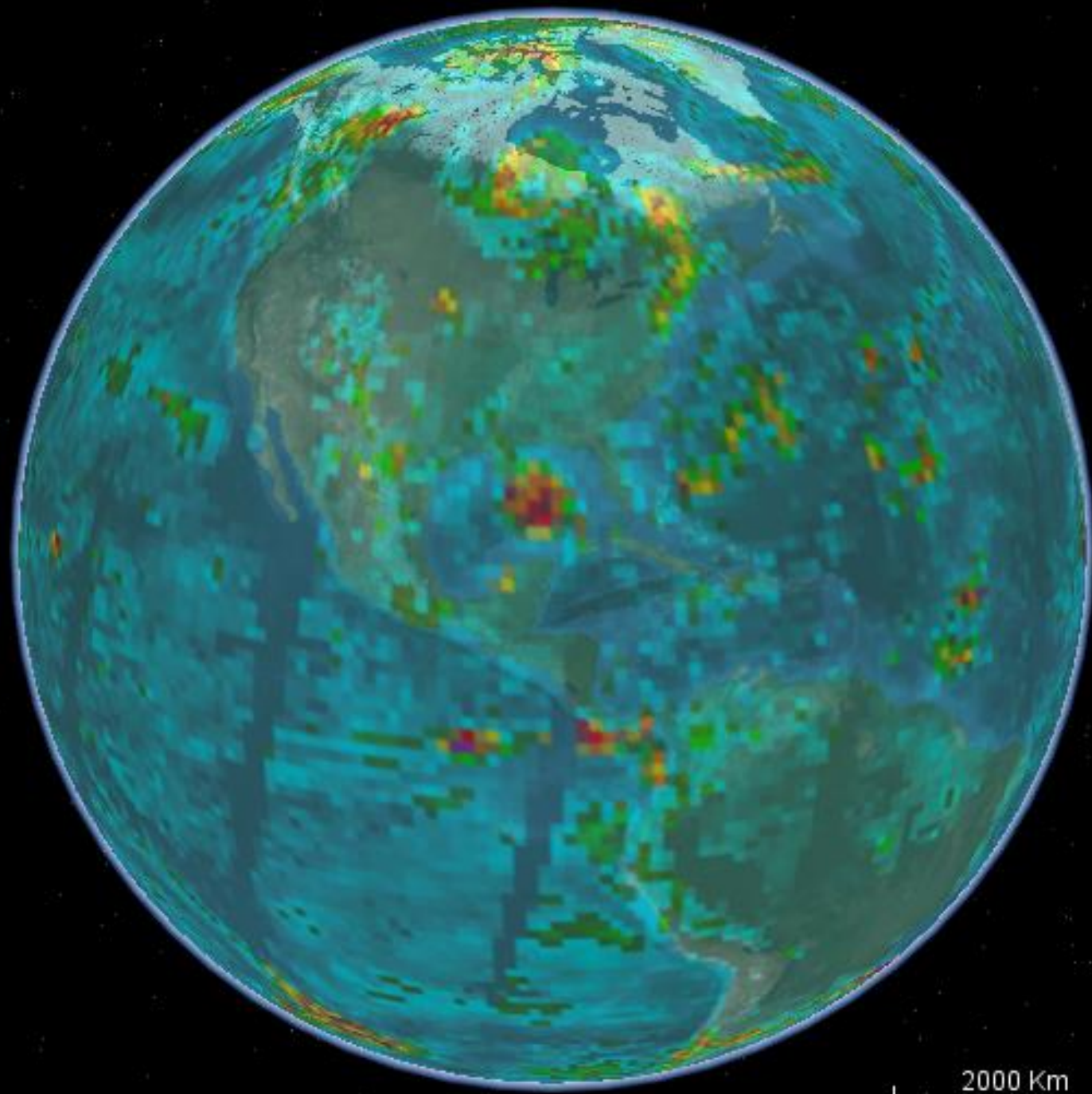


# Пути циклонов

- Отображаются циклоны, у которых начальная дата  $\leq$  заданная дата  $\leq$  конечная дата
- Двойной щелчок по центру – смена даты
- Также смена вспомогательной информации (давления, ...)



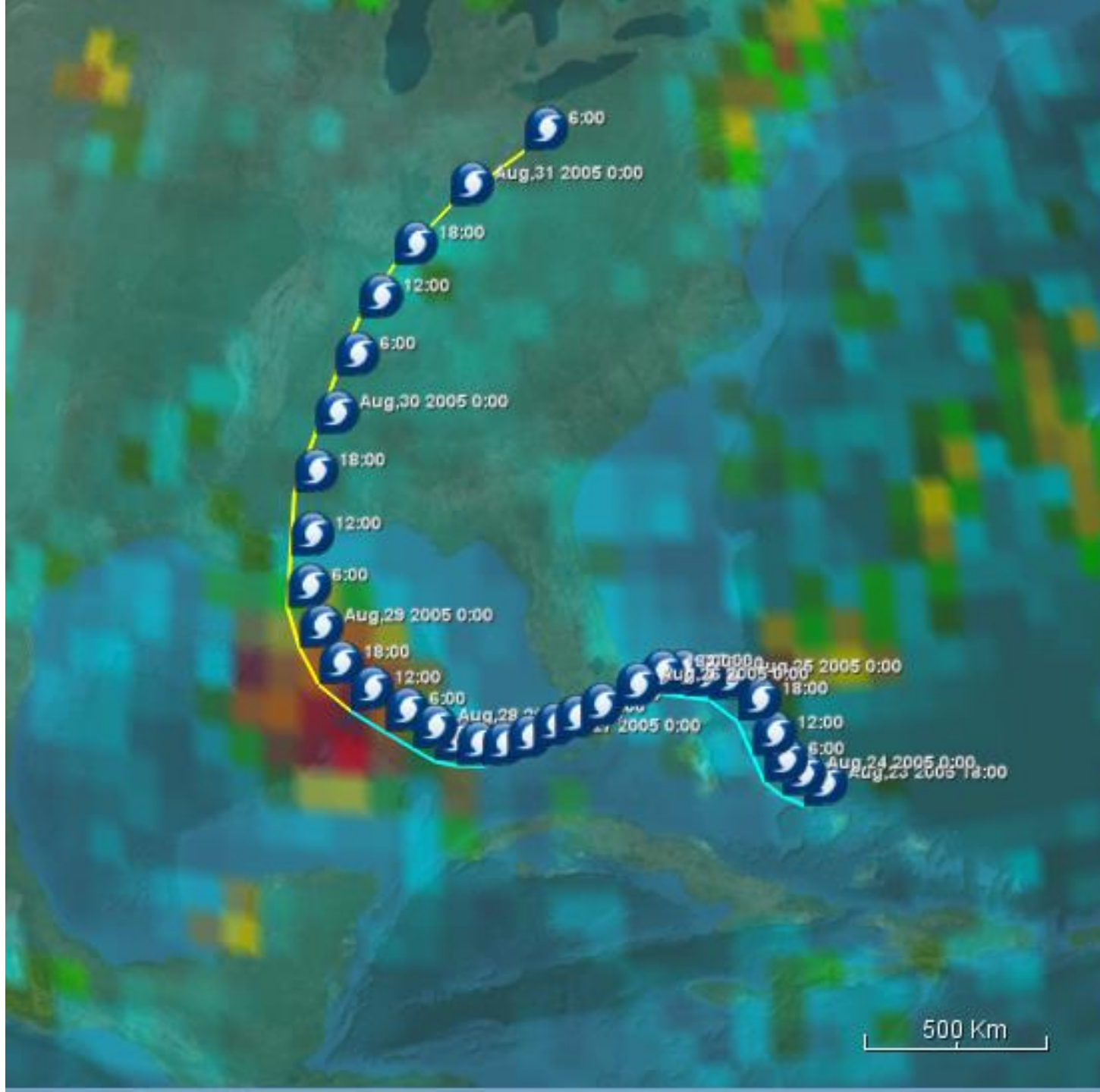
**Terra MODIS:  
Оптическая  
плотность  
облаков**



# Ураган Катрина (IBTrACS) и оптическая плотность облаков (MODIS)

Август 28,  
2005

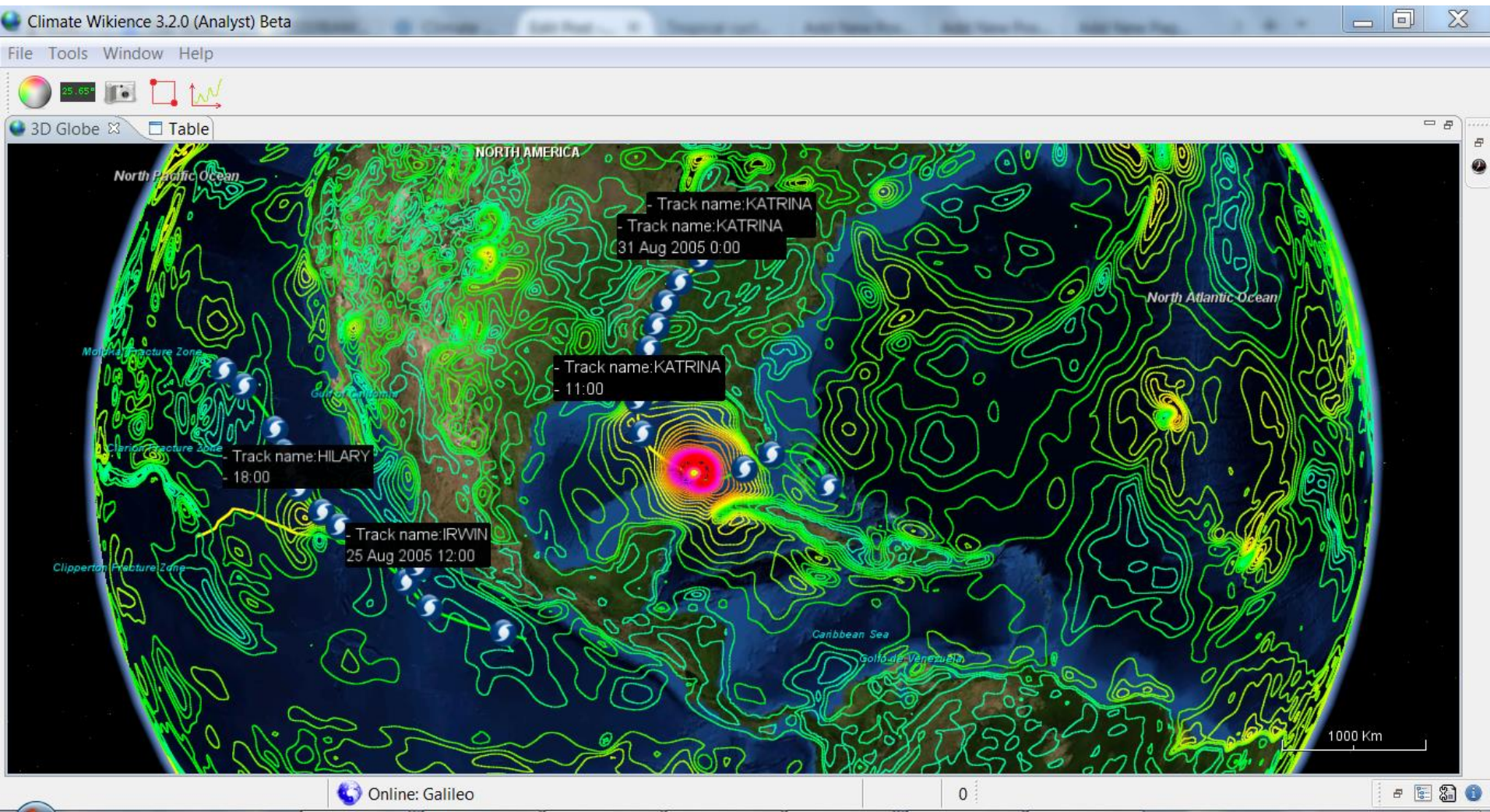
Пиковое  
развитие



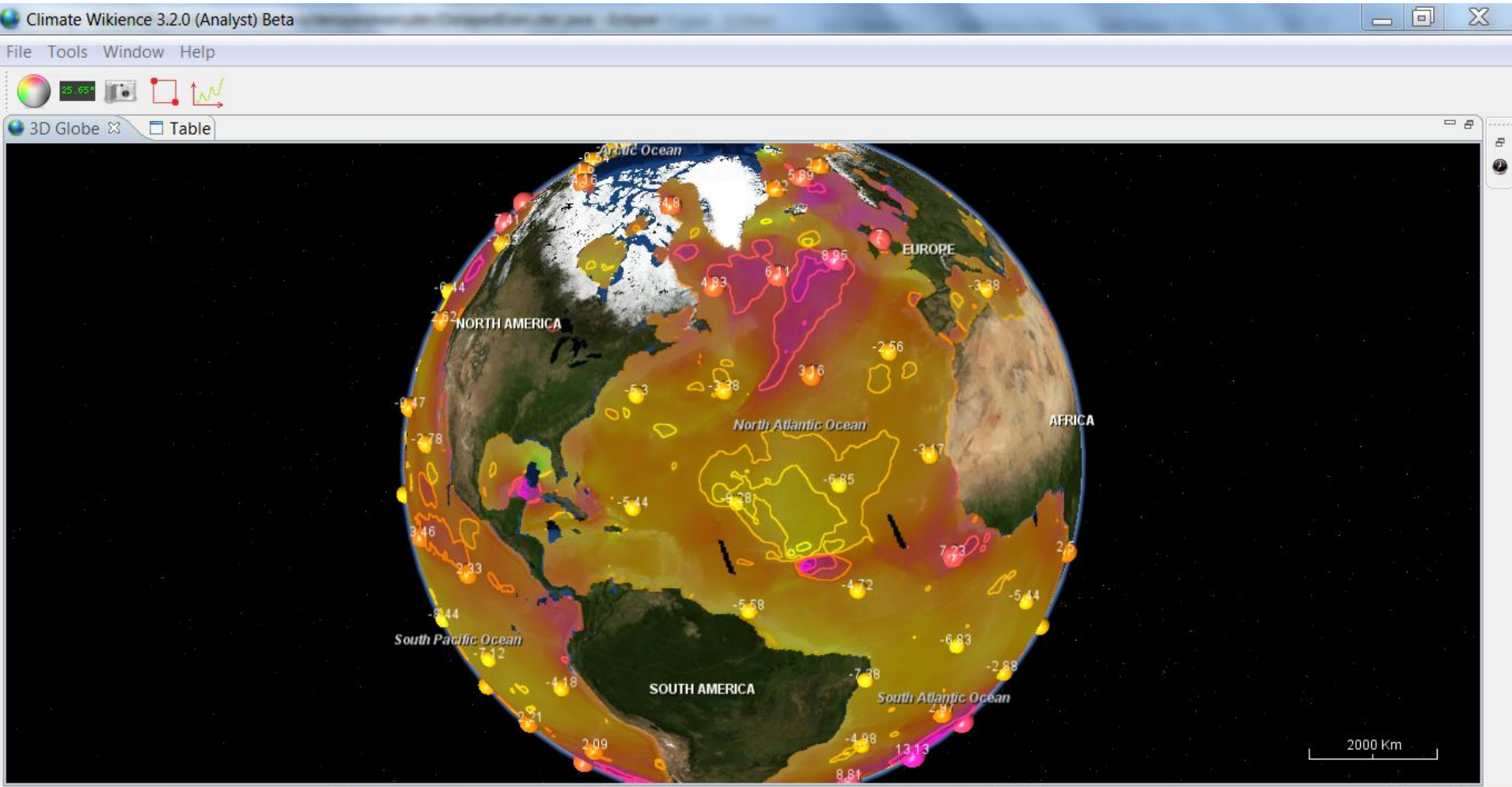


# Путь урагана Катрина и скорость ветра из реанализа CFSR на высоте 10 метров, 28 августа 2005 г. (пиковое развитие урагана).

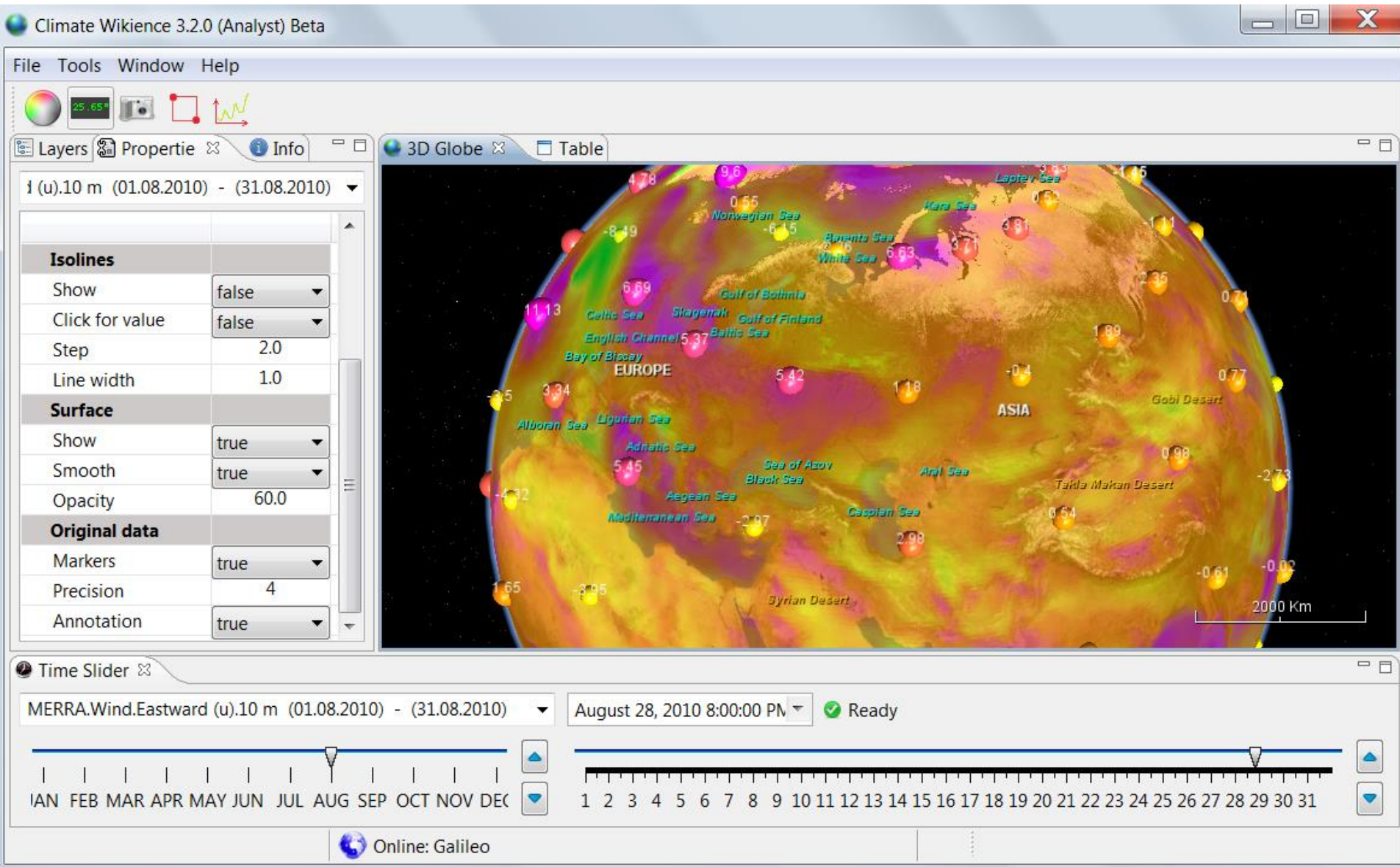
Пути тропических циклонов получены из ITrACS и доступны с 01 Января 1848 г. по настоящее время.



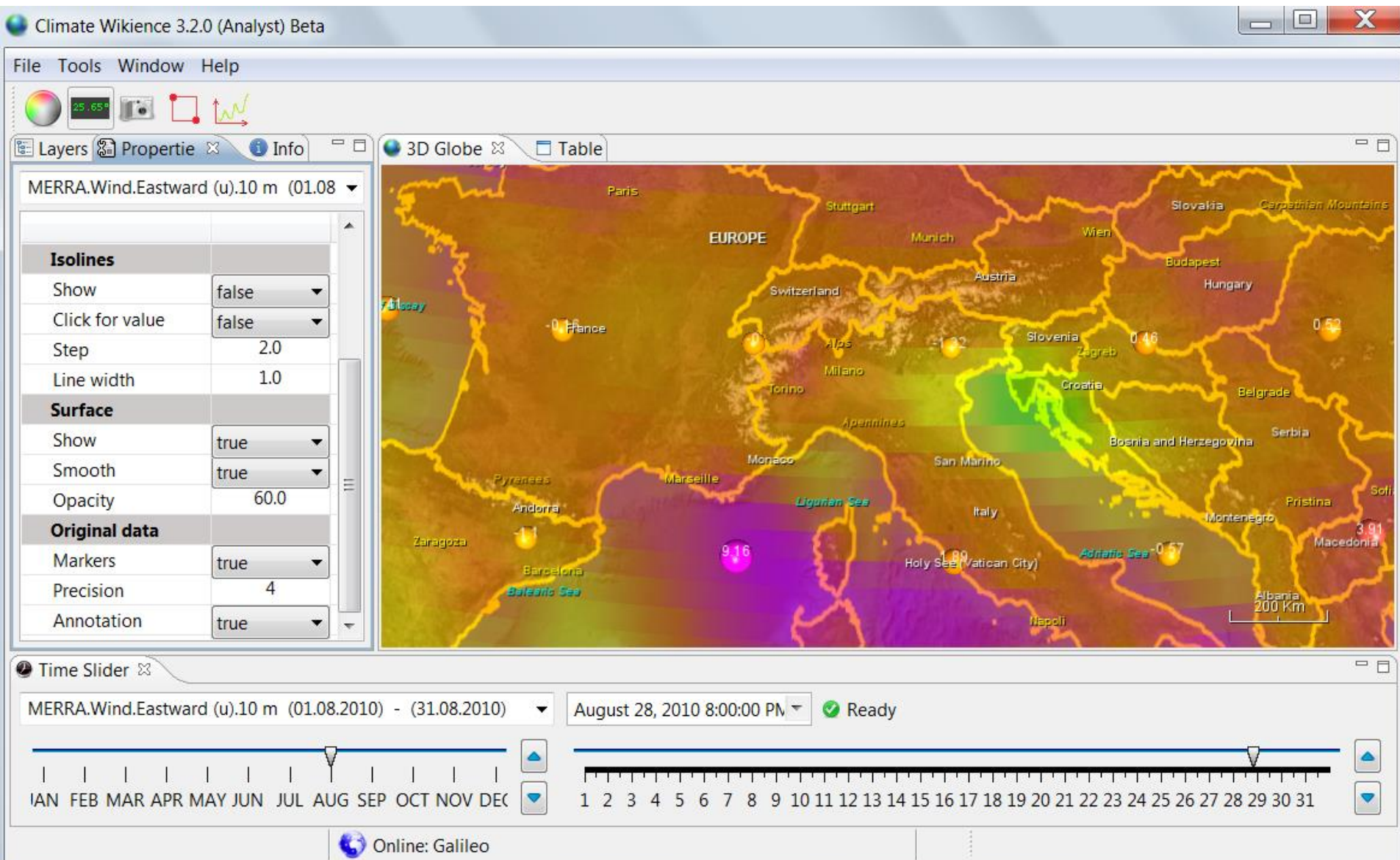
# Скорость ветра (спутниковые данные скаттерометров) на высоте 10 метров, 28 августа 2005 г. (пиковое развитие урагана Катрина).



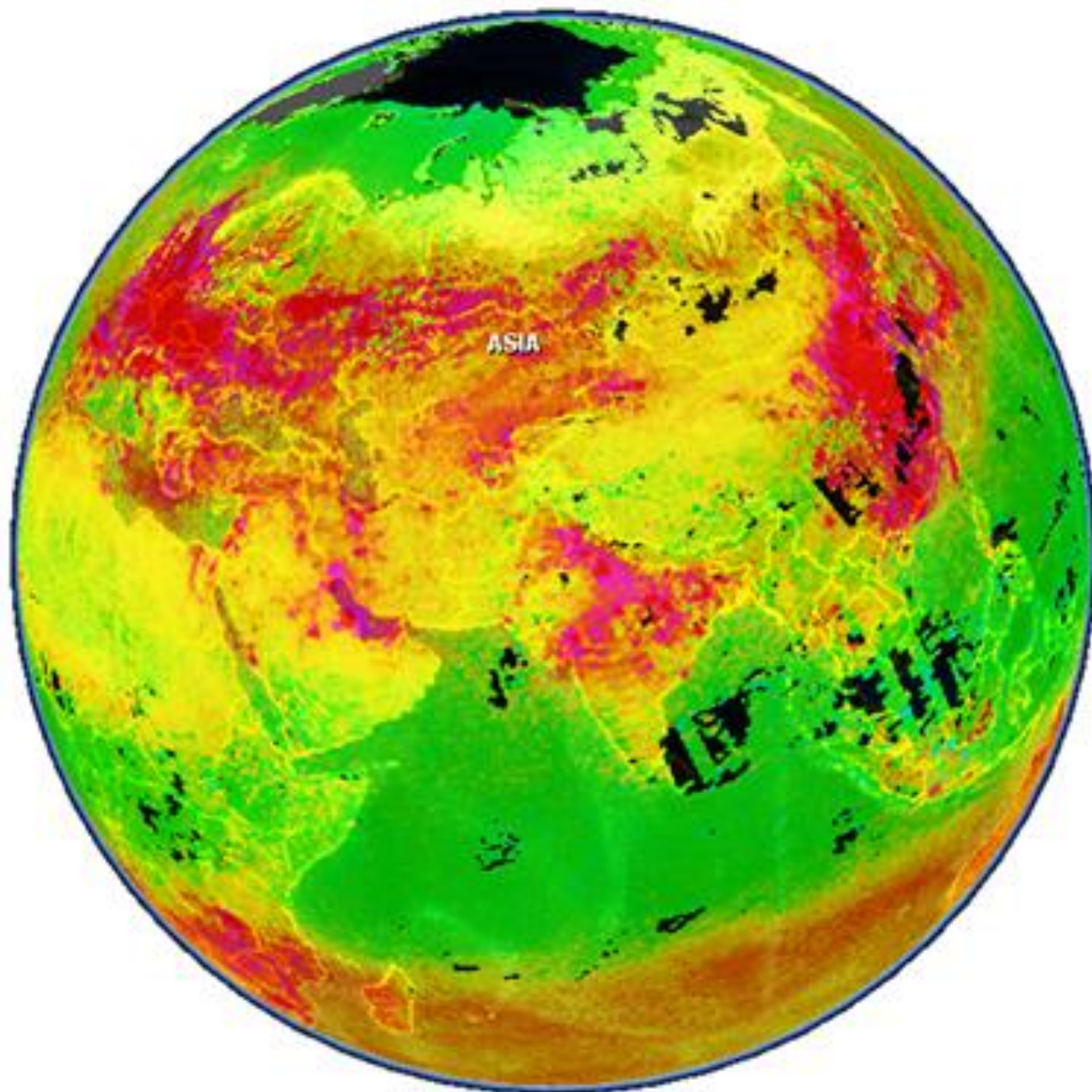
# Восточная компонента скорости ветра (реанализ MERRA) на высоте 10 метров, 28 августа 2010 г.



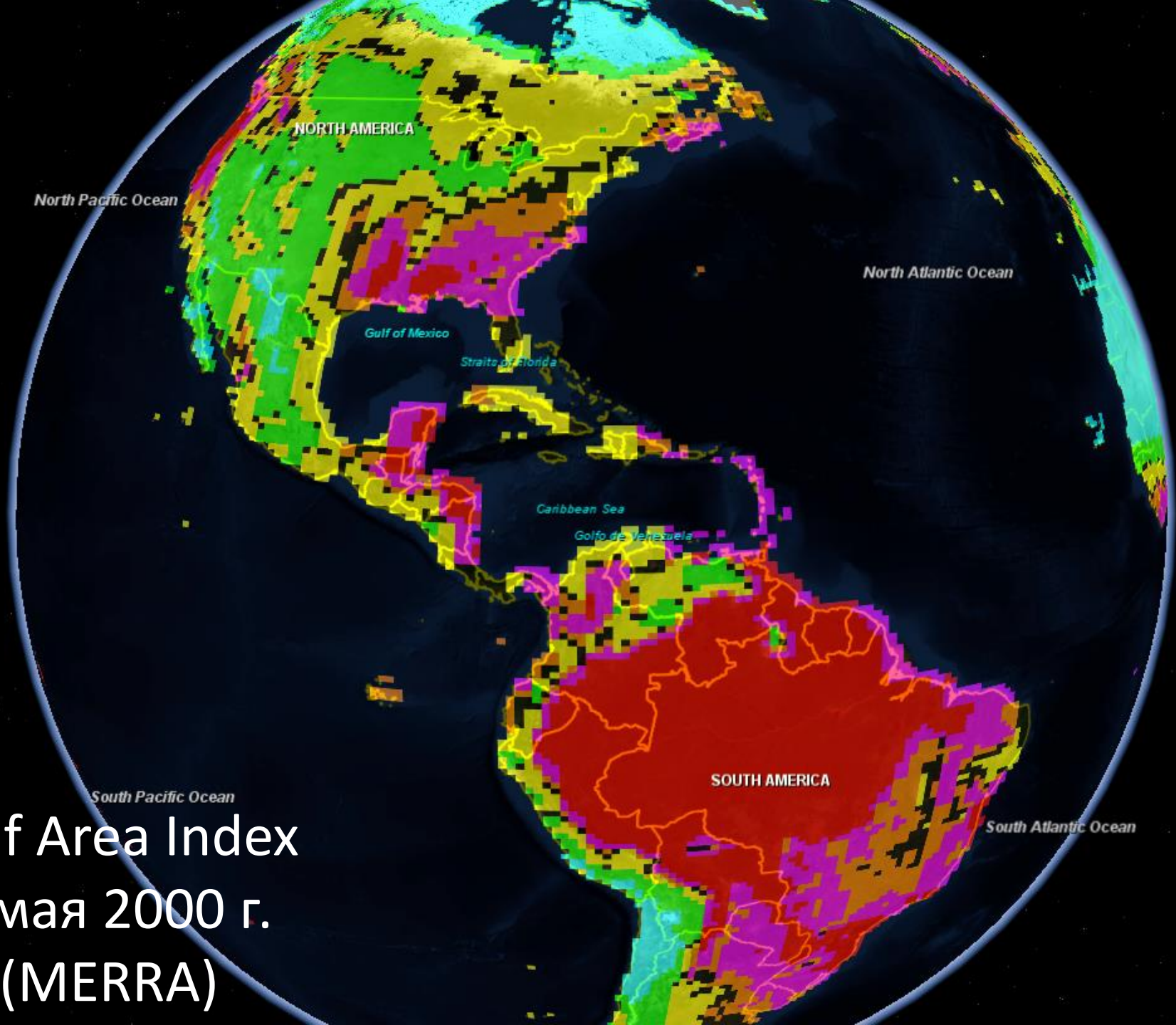
# Zoom: восточная компонента скорости ветра (реанализ MERRA) на высоте 10 метров, 28 августа 2010 г.



Концентрация диоксида азота ( $\text{NO}_2$ ), Aura OMI, 01.04.2004 г.



Leaf Area Index  
1 мая 2000 г.  
(MERRA)



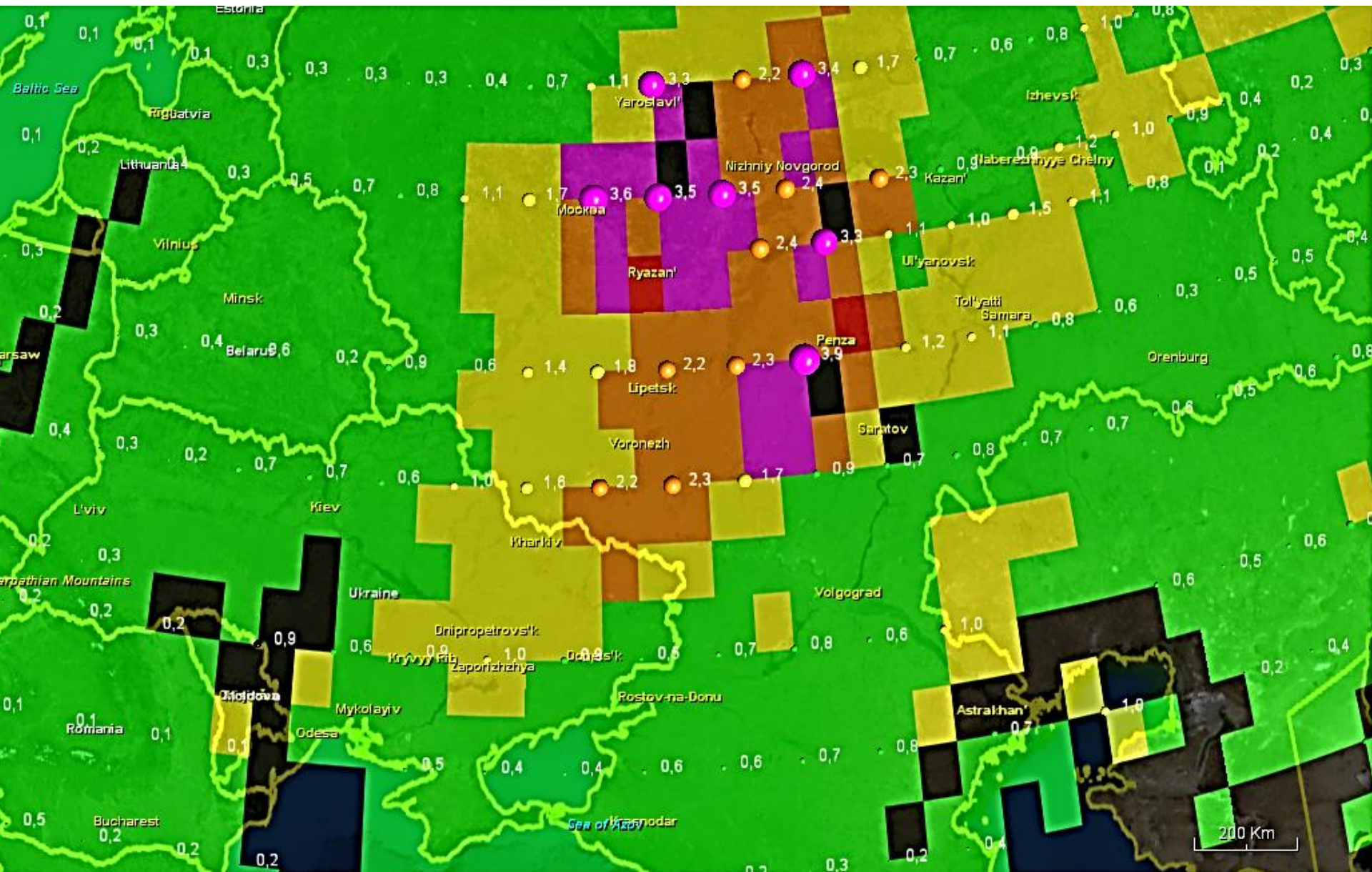
# Огненная буря в России, Август 2010 г.



Москва, Красная Площадь

# Огненная буря в России

Оптическая толщина аэрозоля, август 2010 г.





# Анализ в среде R



# Анализ данных: среда R

- Более 5000 пакетов
- Бесплатная
- Активно развивается
- Хорошая поддержка

The screenshot displays the RStudio environment. The top menu bar includes File, Edit, Code, View, Plots, Session, Project, Build, Tools, and Help. The toolbar contains icons for file operations and a search bar labeled 'Go to file/function'. The workspace shows a project named '(None)'. The source editor displays R code for a function named 'approx\_test' and a data loading function. The console shows the R startup sequence, including package loading for 'sp', 'raster', and 'rJava'. The workspace pane shows a list of objects in the environment.

```
1 # check whether na.approx works right for us
2 approx_test <- function(w, lat, lon) {
3   dev.new()
4
5   par(mfrow = c(2, 1))
6   par(mai = c(.1, .1, .1, .1))
7   par(omi = c(.1, .1, .1, .1))
8
9   transposeData <- rCwience::readTransposeData(w, "Modis_L3_A
10
```

Console output:

```
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.
Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

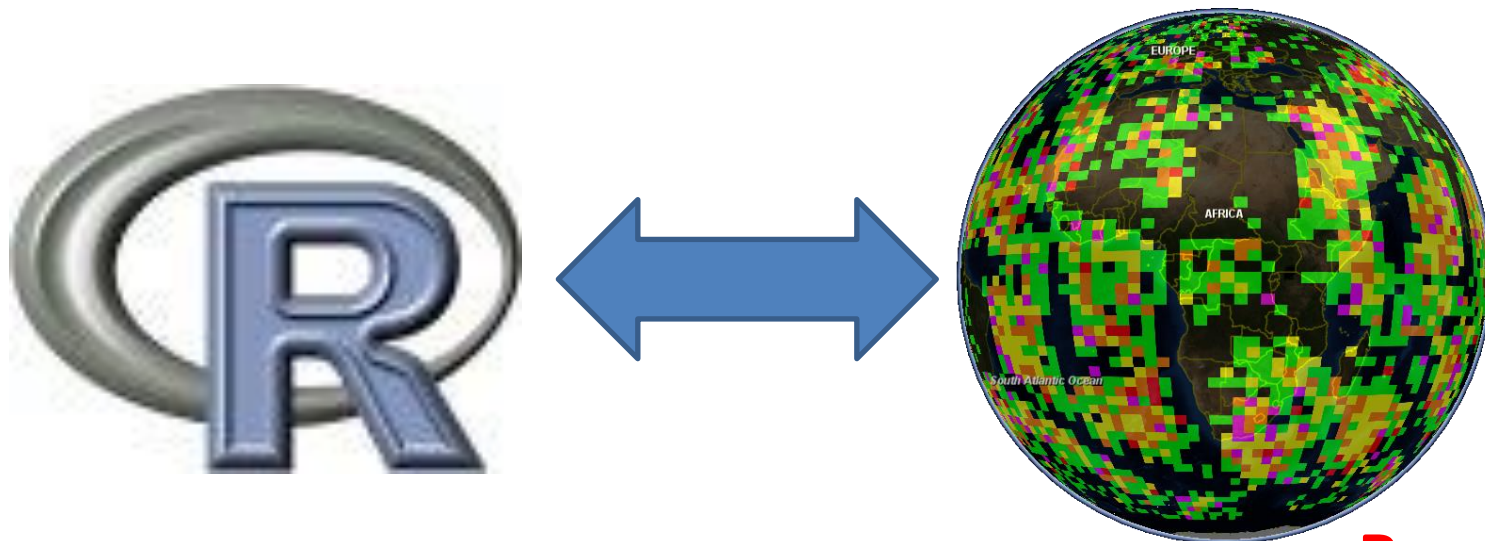
[workspace loaded from ~/.RData]

Loading required package: sp
Loading required package: raster
raster 2.0-41 (21-December-2012)
Loading required package: rJava
> |
```

Object Name	Size	Mode
CO2_monthly	98 kb	numeric
NO2_monthly	99 kb	numeric
O3_OMI_VS_MODIS	621 c	numeric
correlation	621 c	numeric
m	180x3	matrix
mrg	4536	numeric
no2_vs_o3	2820	numeric

# RWikience

- Пакет для среды R
- Подключение к Climate Wikience и обмен данными



```
library(RWikience)  
w<-WikienceConnect()  
m <- getFloatMatrix(w, "CO2", "01 03 2005")
```

Всего  
3 строки  
кода

**Все данные доступны из R**

# Всего несколько строк в среде R

## Пример

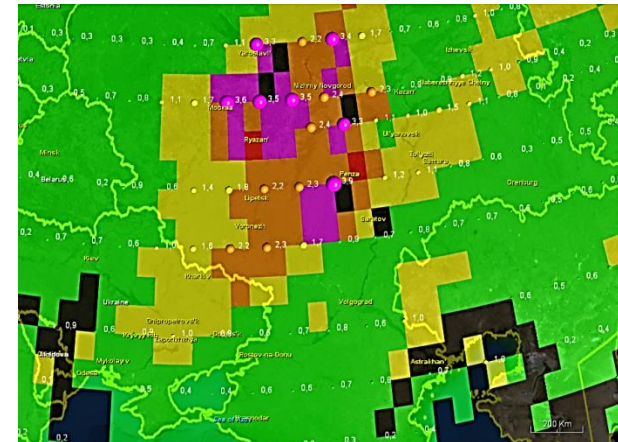
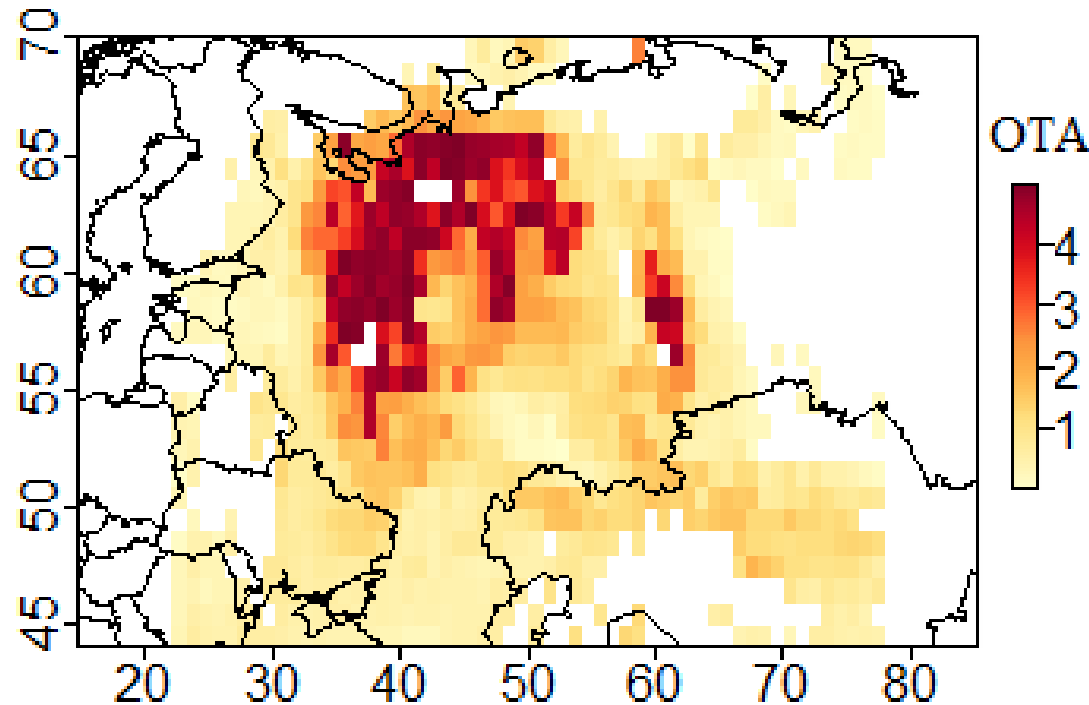
```
library(RWikience)
library(openair)

m <- getFloatMatrix(w,
  "Modis L3 Atmosphere.
  AEROSOL.
  LAND AND OCEAN.
  Optical Depth.Maximum",
  "09 08 2010")
```

```
r <- convertToRaster(m)
r_cut <- cutRaster(r, 70, 44, 22, 78)
```

```
plot(r_cut, col = openColours("heat"))
plot(cshp.data, add=T, border="black")
```

Построение карты оптической толщины аэрозоля  
за 09.08.2010 г. (торфяные пожары в России)



## Метод вычисления риска загрязнения воздуха

Риск – вероятность определенного уровня загрязнения воздуха веществом над изучаемой территорией

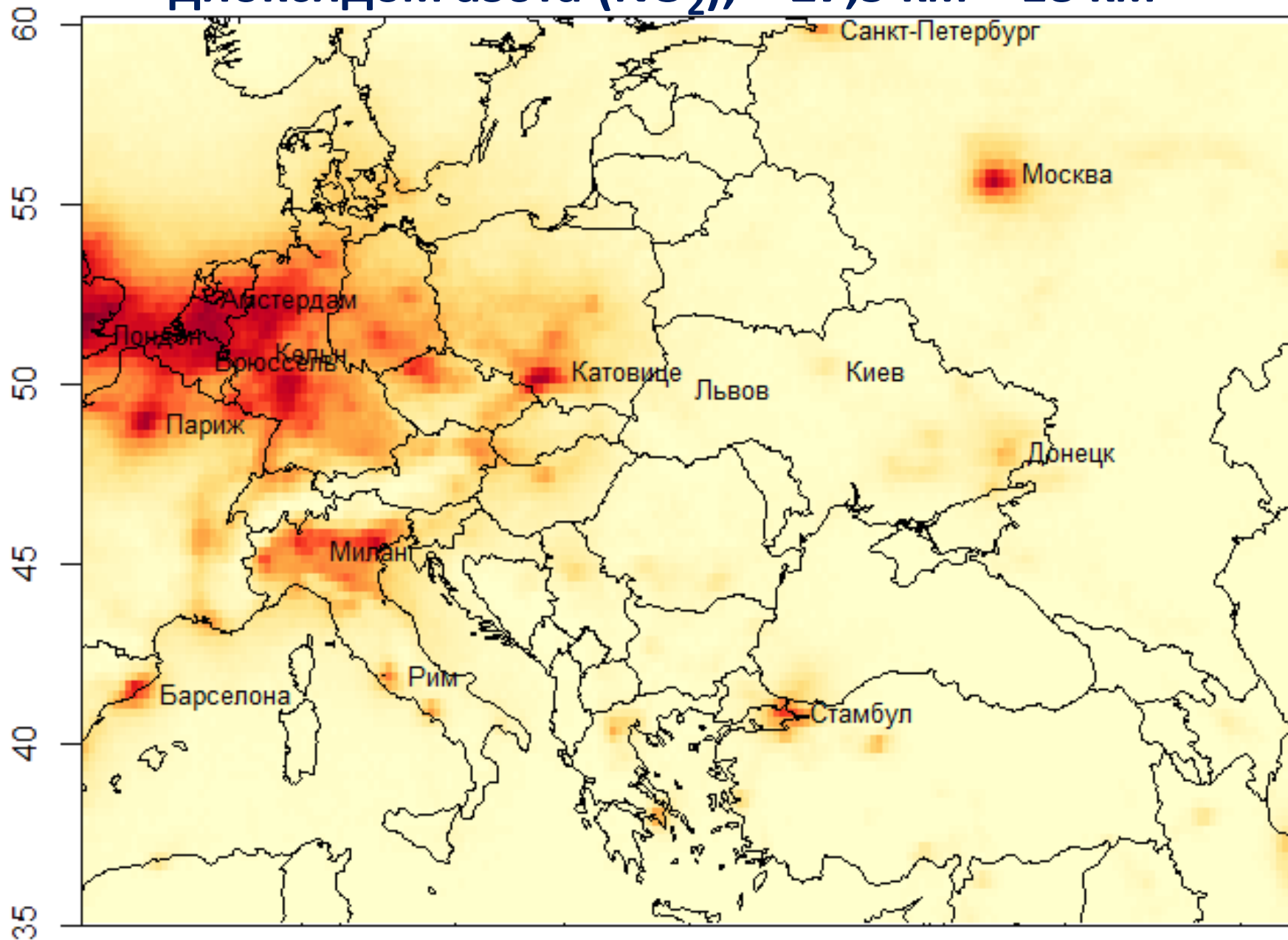
$$R(a, b) = S(a, b) / T$$

$S(a, b)$  = количество дней с концентрацией вещества в диапазоне  $a..b$  еД

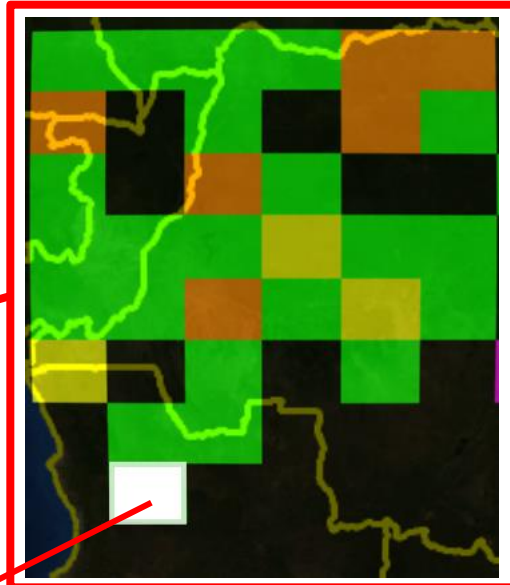
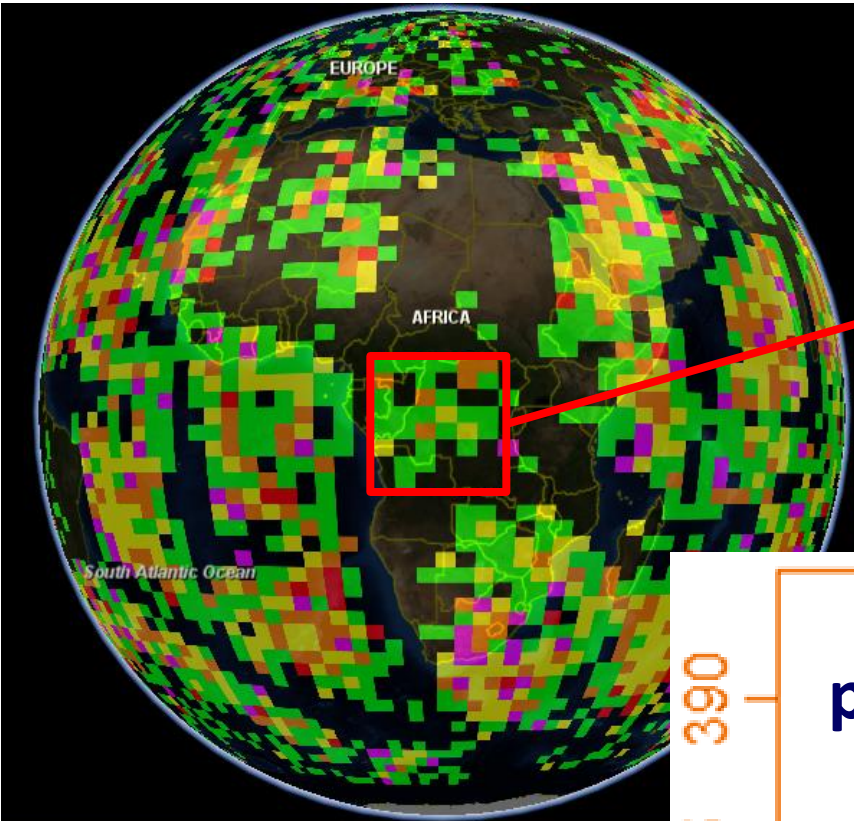
$T$  = количество дней, для которых имеются данные наблюдений для ячейки

Рассчитывается для каждой ячейки

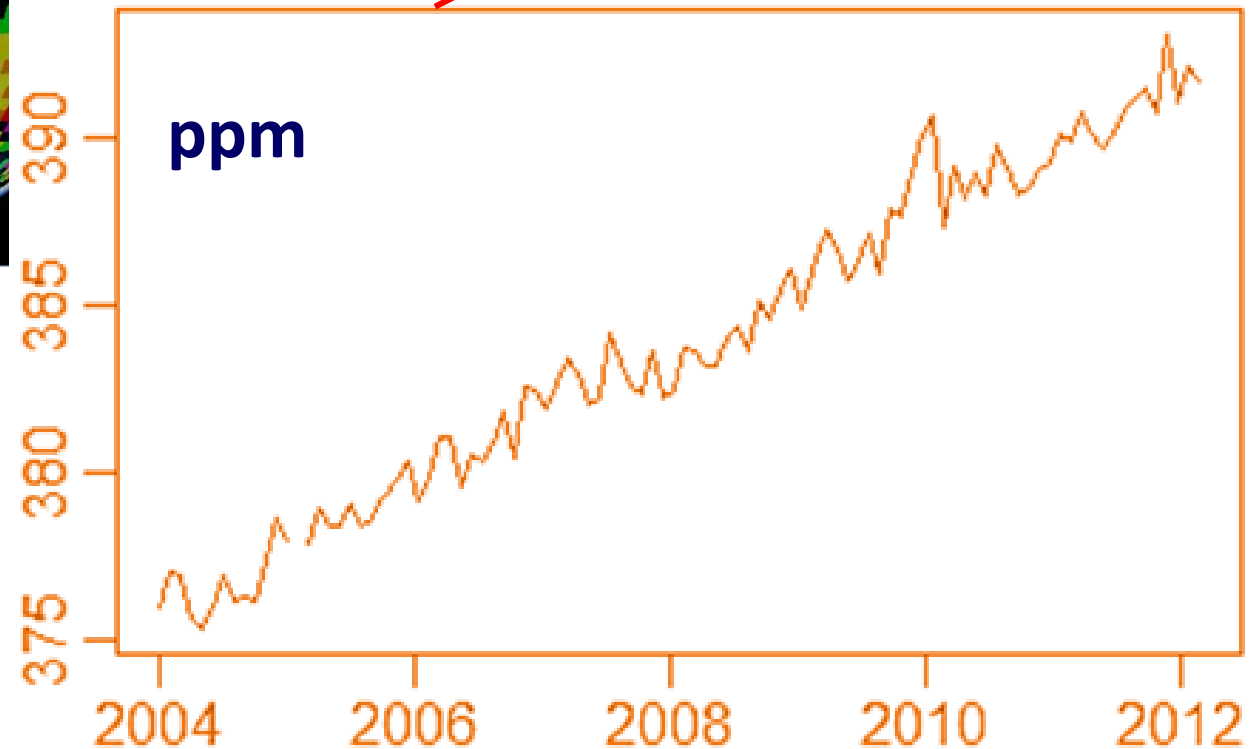
# Риск умеренного загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота ( $\text{NO}_2$ ), $\approx 27,5 \text{ км} \times 18 \text{ км}$



# Временной ряд для ячейки

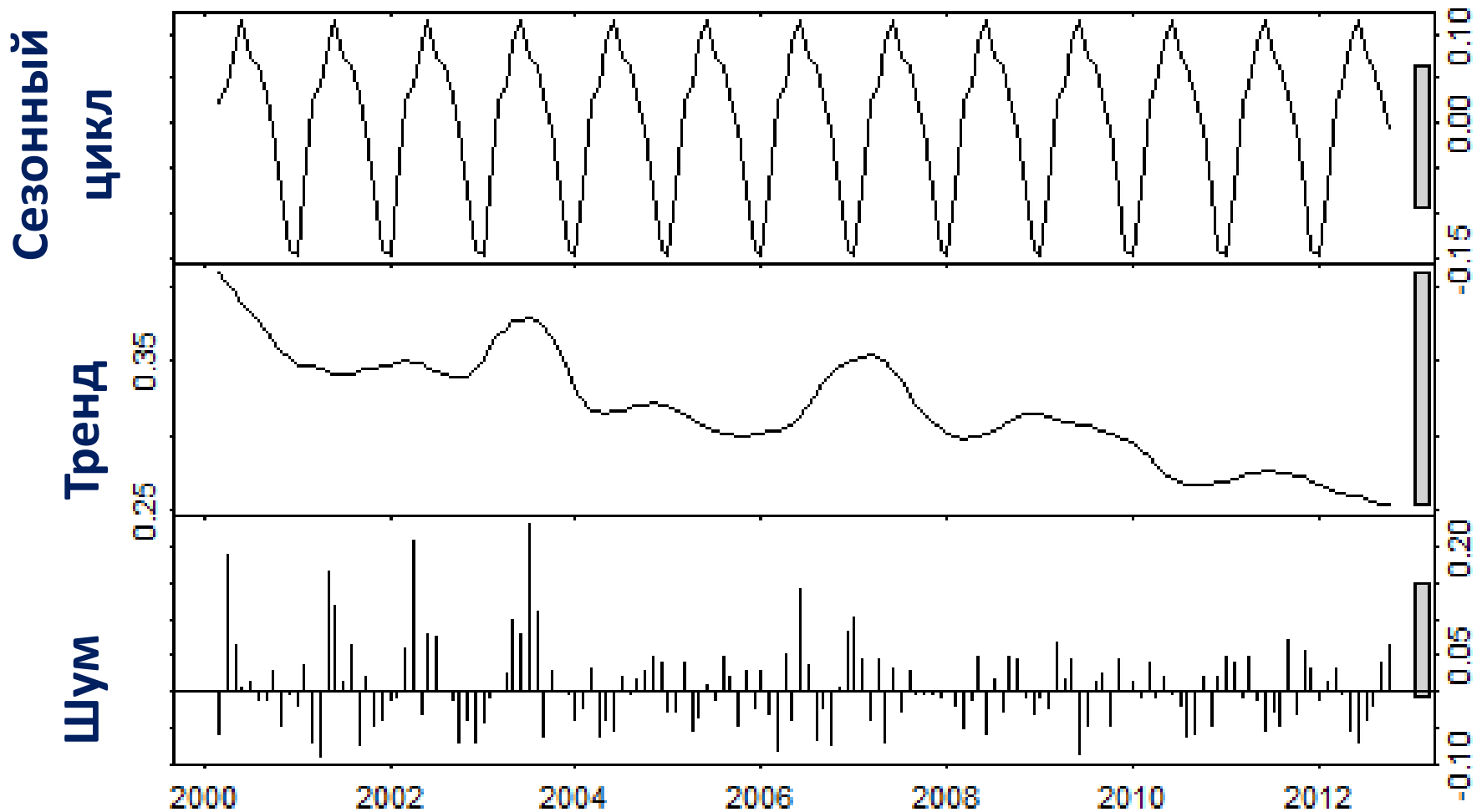


# Временной ряд концентрации CO<sub>2</sub> (среднемесячный) над ячейкой



# ОТА над Римом, Италия

```
library(zoo)
t_avg.trim <- na.trim(t_avg)
t_avg.trim$value <- na.approx(t_avg$value)
t_avg.ts <- ts(t_avg.trim[,2], start=c(2000,3), freq=12)
plot(stl(t_avg.ts, s.window="periodic", robust=TRUE))
```

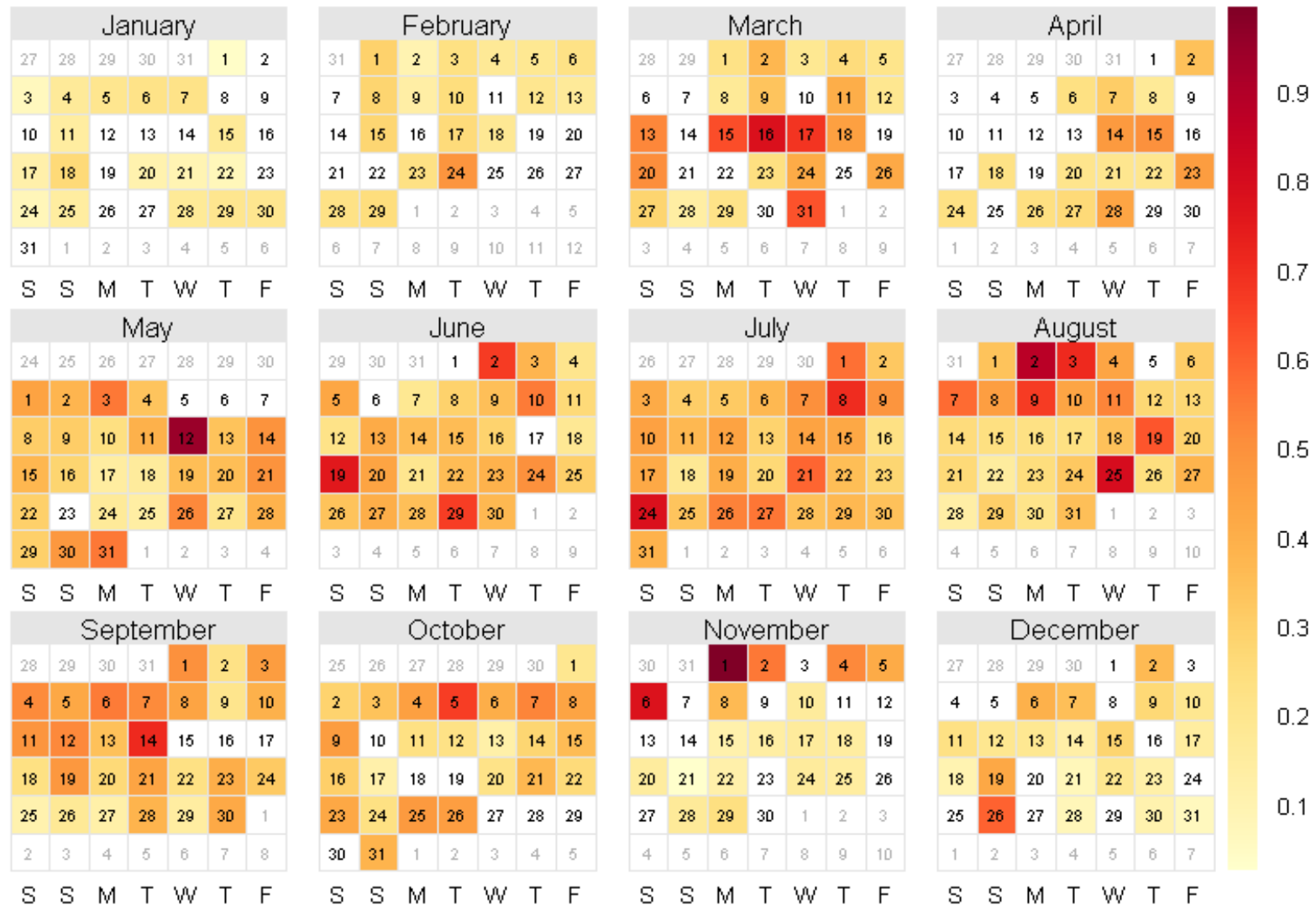


Декомпозиция методом STL (Рим)



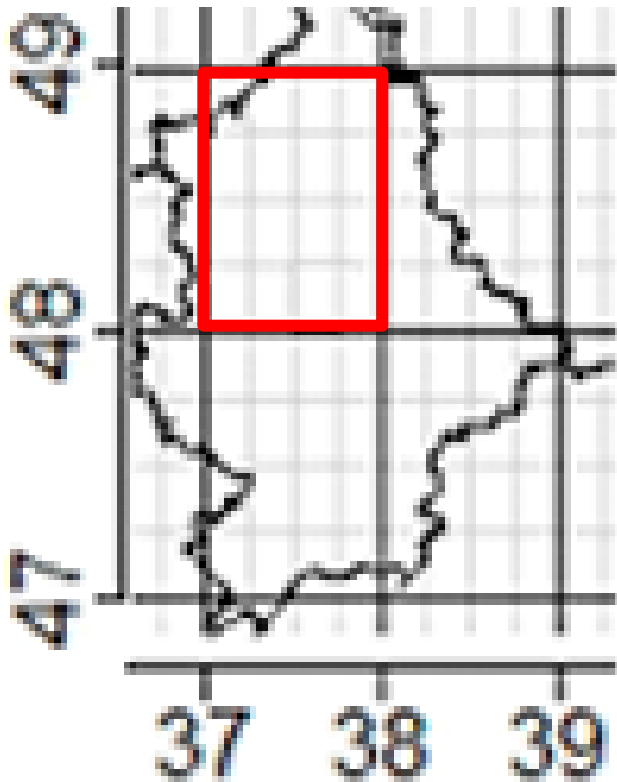
# ОТА над Римом, Италия

```
library(openair)  
calendarPlot(t, "value", 2004)
```

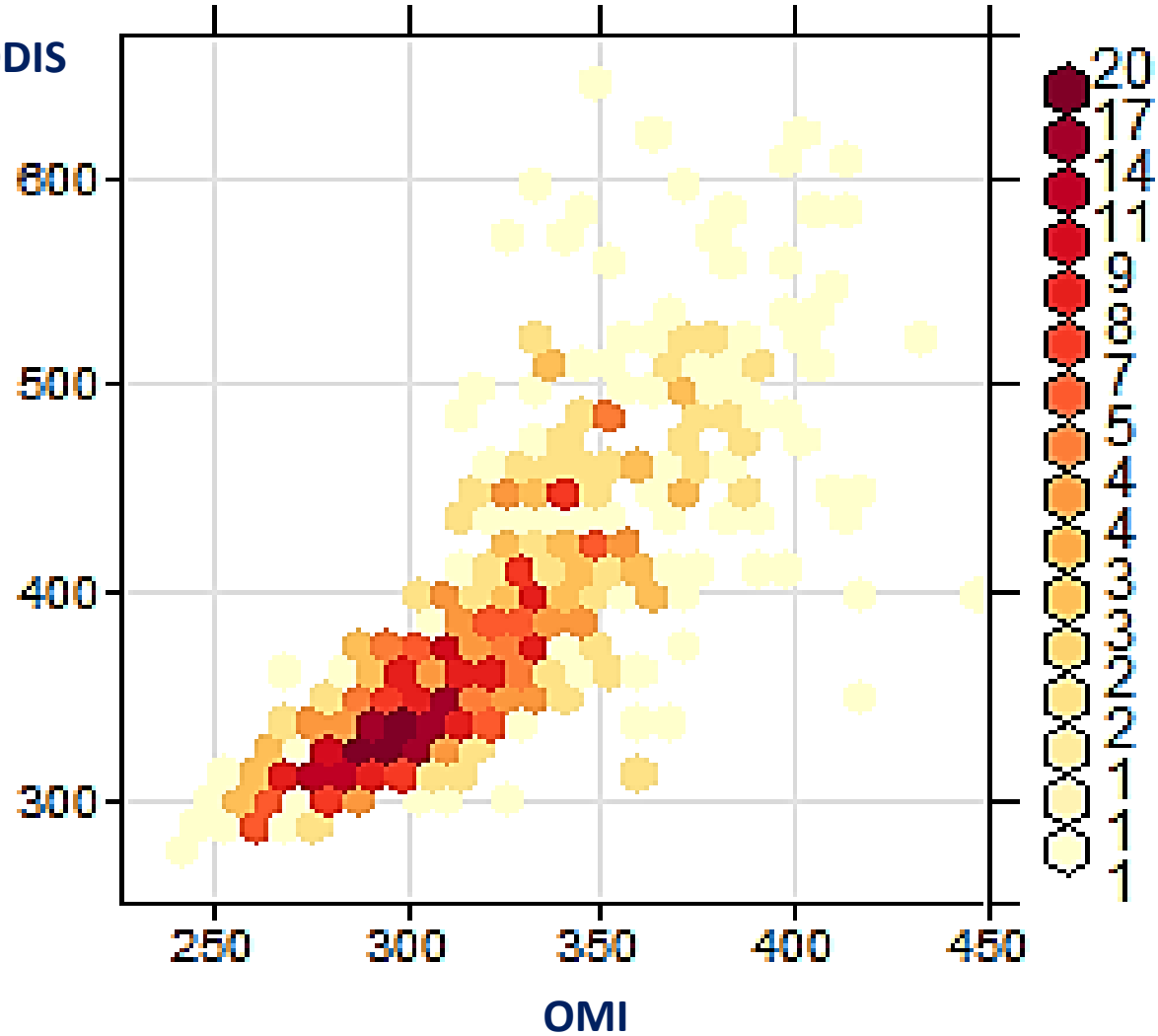


Ежедневное значение ОТА над Римом в 2004 г.

# Сравнительный анализ содержания озона



MODIS

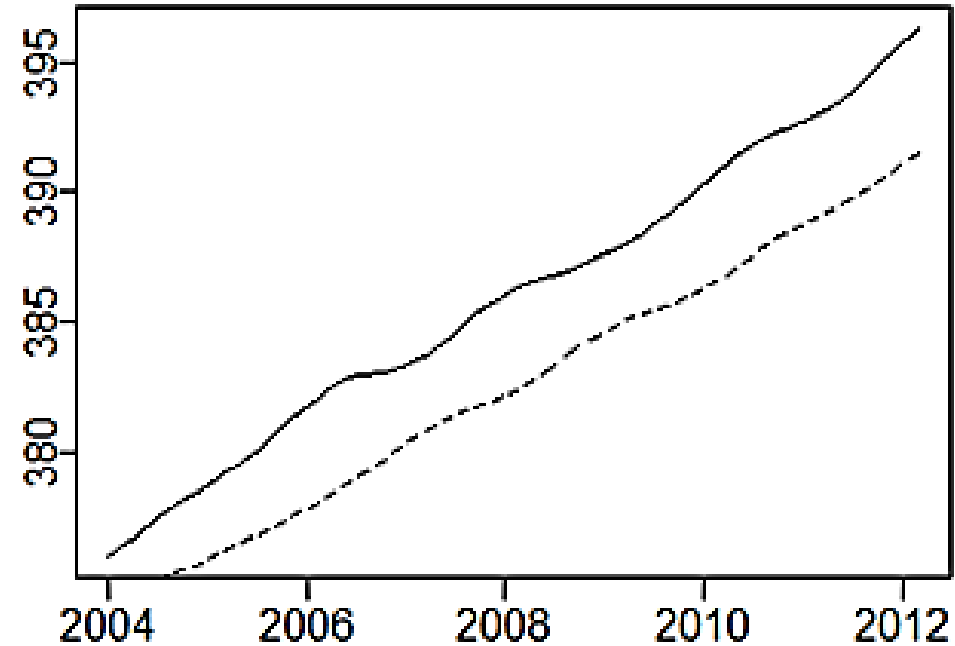
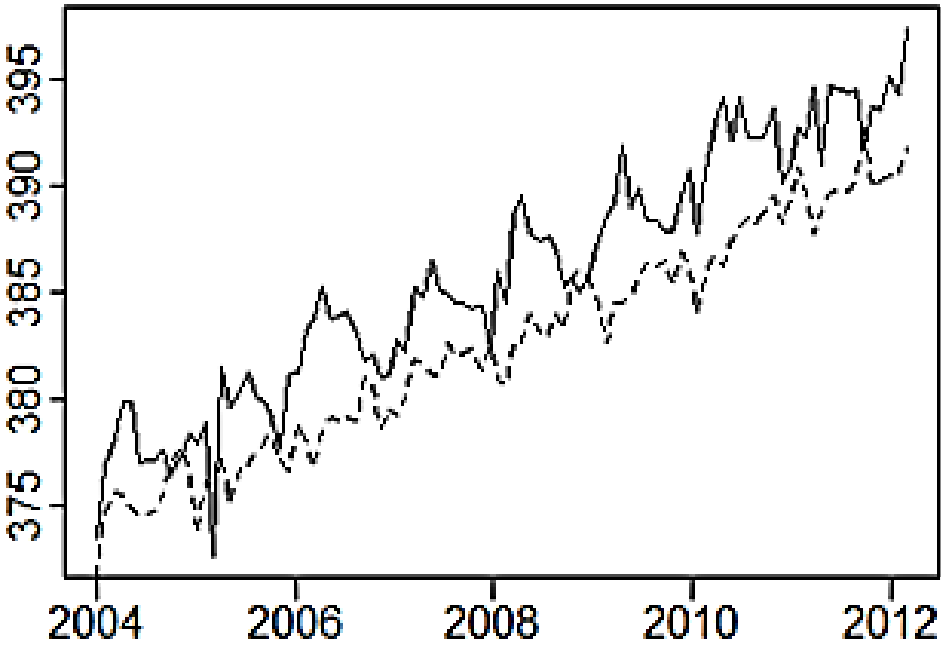


1 ячейка MODIS  $1,0^{\circ} \times 1,0^{\circ}$

16 ячеек OMI  $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$

# Динамики среднемесячной концентрации CO<sub>2</sub>

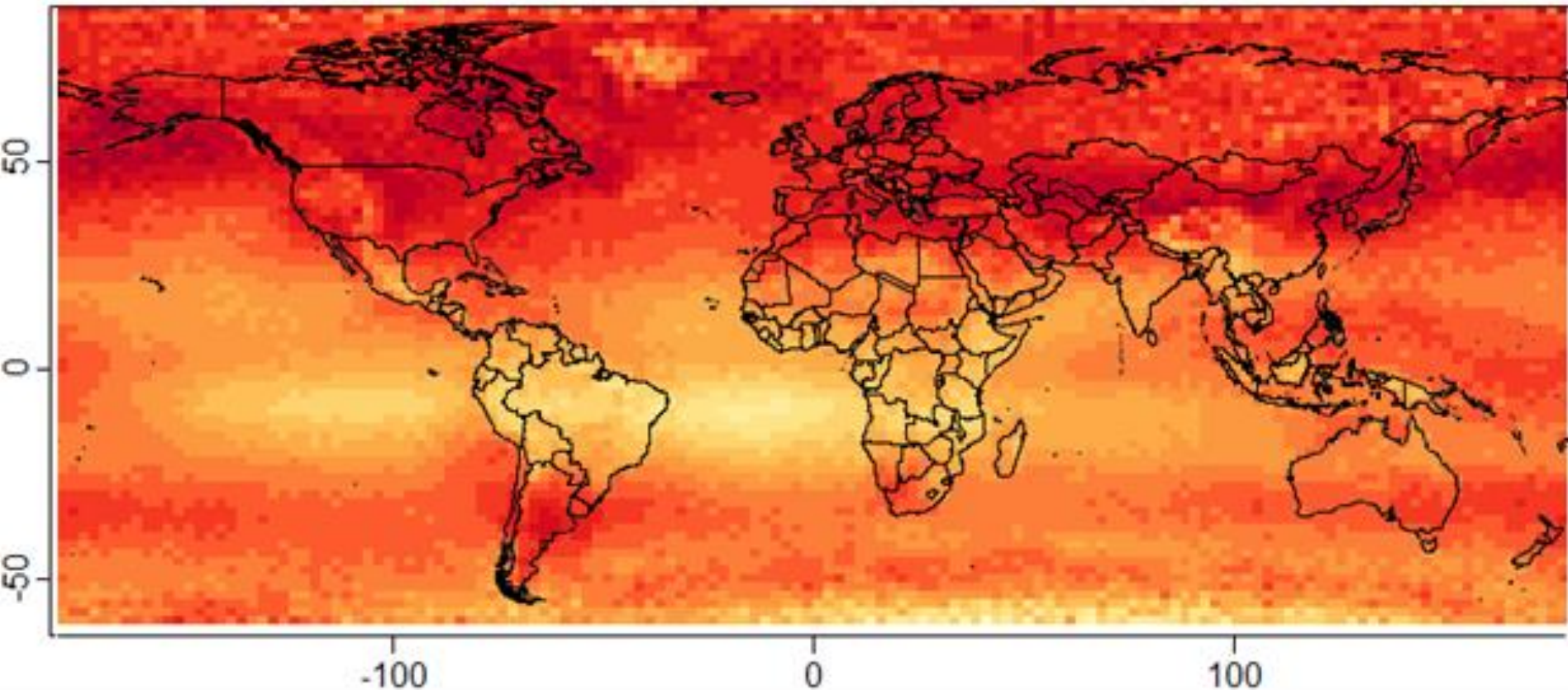
ppm



— Средняя широта (47°, 35°)

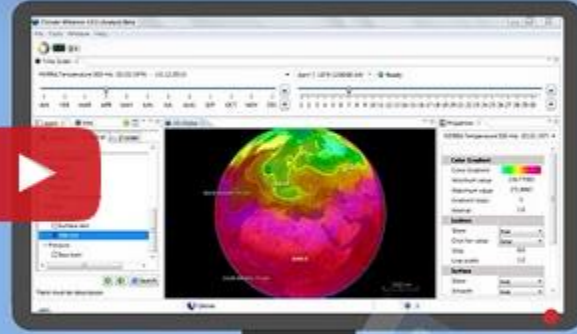
- - - Тропики (-11°, 15°)

# Анализ динамики CO<sub>2</sub> над всем Земным шаром



6,5 ppm  $\approx$  2% среднемесячной концентрации

Climate Wikience



<https://www.youtube.com/watch?v=yqeajvqPuKo>

**Видео,  
брошюра,  
статьи**

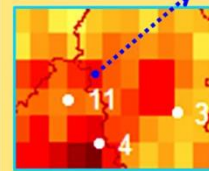
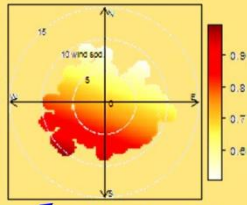
<http://www.wikience.org/ru/climate-wikience-brochures-ru/>

## Анализ

Все данные Climate Wikience доступны непосредственно из среды анализа R. Она содержит более 5000 пакетов, в том числе пространственного анализа, обработки временных рядов, моделирования и многие другие <http://www.r-project.org/>



Зависимость концентрации диоксида серы (SO<sub>2</sub>) (спутник Aura) вблизи TEC (11) от скорости и направления ветра (MERRA).



Фрагмент карты рисков умеренного уровня загрязнения воздуха SO<sub>2</sub>\*  
3, 4, 11—расположение тепловых электростанций

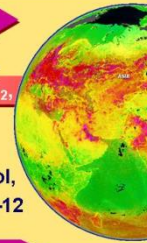
Скорость ветра растет радиально от центра диаграммы, где она равна нулю.

Максимальный уровень SO<sub>2</sub> наблюдается при юго-западном ветре 5–10 м/с (т.е. при ветре со стороны TEC).

[WWW.WIKIENCE.ORG/RU/](http://WWW.WIKIENCE.ORG/RU/)

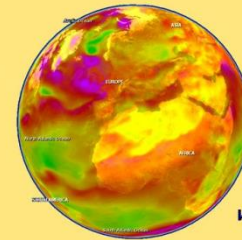
## Газы

O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub>, HCHO, CO<sub>2</sub>, CO, BrO, OClO, Aerosol, CFC-11, CFC-12



## МЕТЕОРОЛОГИЯ

Более 80 переменных: атмосфера, океан, температура почвы; давление, влажность, облачность, температура, скорость ветра; свойства воды, испарение,...



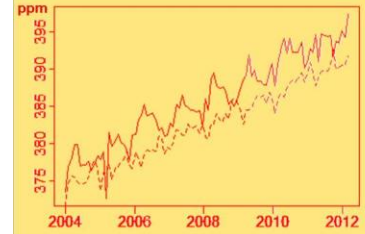
скорость ветра;  
свойства воды,  
испарение,...

## РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

NDVI, SRI, EVI, LAI, SGI, FPAR, ARVI, RENDVI, MRESRI, VREI, REPI, PRI, SIPI, RGRI, NDN, CAI, ...

1 час—1 день до 9×14 км глобально

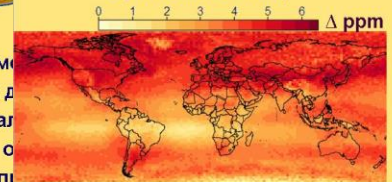
Среднемесячная концентрация CO<sub>2</sub> (ppm) для точки в России (47°, 35°) и тропиках (–11°, 15°), сплошная и пунктирная линии (построено по данным спутникового радиометра AIRS).



Фрагмент программы на языке R для построения диаграммы:

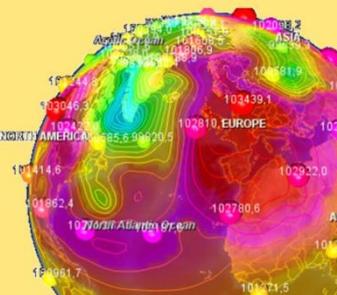
```
1 library(RWikience)
2 w <- WikienceConnect()
3 t_co2 <- readTimeSeriesAtLatLon(w, "AIRS_AMSU.CO2", 47, 35)
4 CO2_monthly <- aggregate(t_co2["value"], format(t_co2["date"], "%Y-%m"), mean, na.rm = TRUE)
```

Усредненные разности трендов CO<sub>2</sub> (обработка 7 лет глобальных ежедневных спутниковых данных)\*

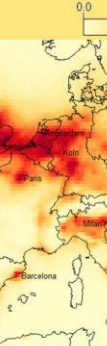


Космическое ДЗЗ

[www.wikience.org/ru/](http://www.wikience.org/ru/)



Риск умеренного уровня загрязнения воздуха диоксидами азота (NO<sub>2</sub>) и озона (O<sub>3</sub>) в Европе, сплошная и пунктирная линии (построено по данным спутникового радиометра AIRS).



Риск загрязнения атмосферы в заданном регионе

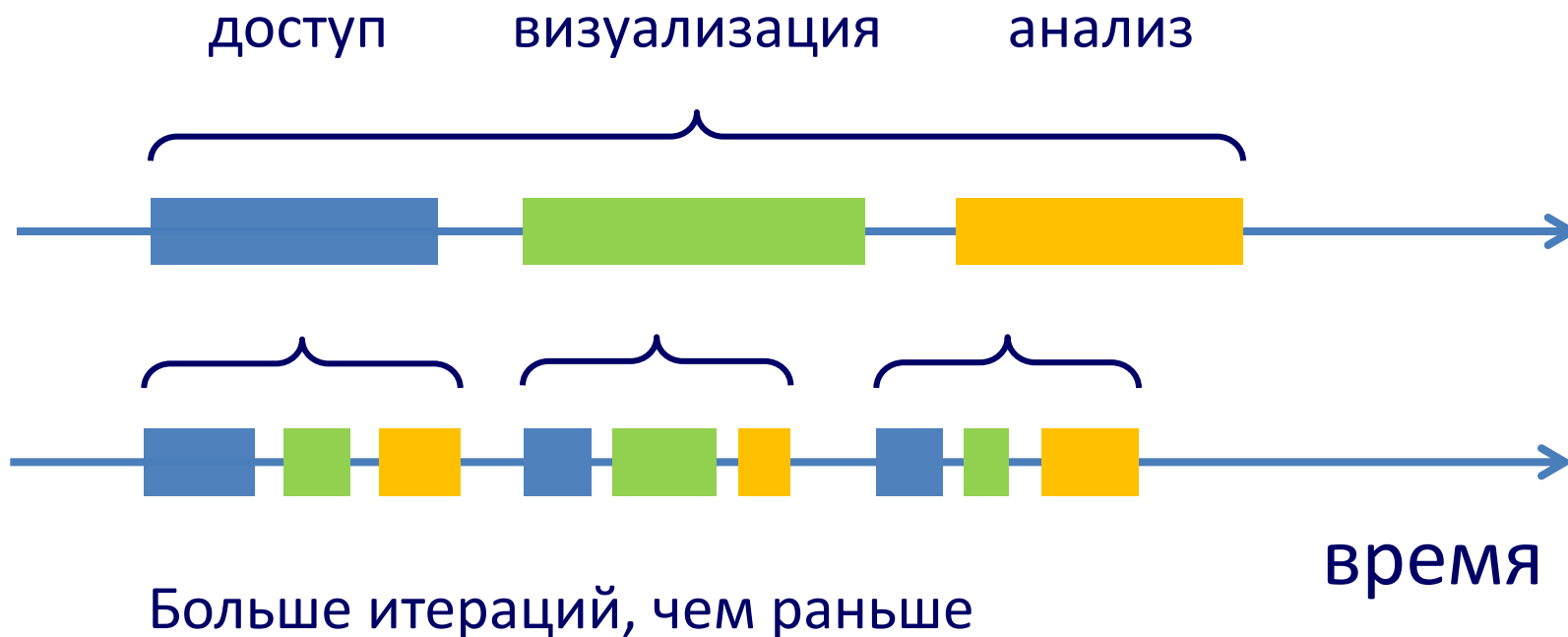
Оптическая толщина аэрозоля над Римом, Terra MODIS

\* Rodrigues Zaipri according to the sensing data, Proc. Ecologists with In Ukraine, 25-27 132. Эта и другие статьи доступны на сайте [www.wikience.org/ru/](http://www.wikience.org/ru/)

Моделирование

# Выводы: Climate Wikience-ChronosServer-R

- Позволяет быстрее, нагляднее, проще получать доступ к данным, визуализировать, выполнять анализ
- Сокращает время одной итерации доступ-визуализация-анализ
- Сокращает ручной труд
- Открывает возможности исследования данных большему количеству пользователей

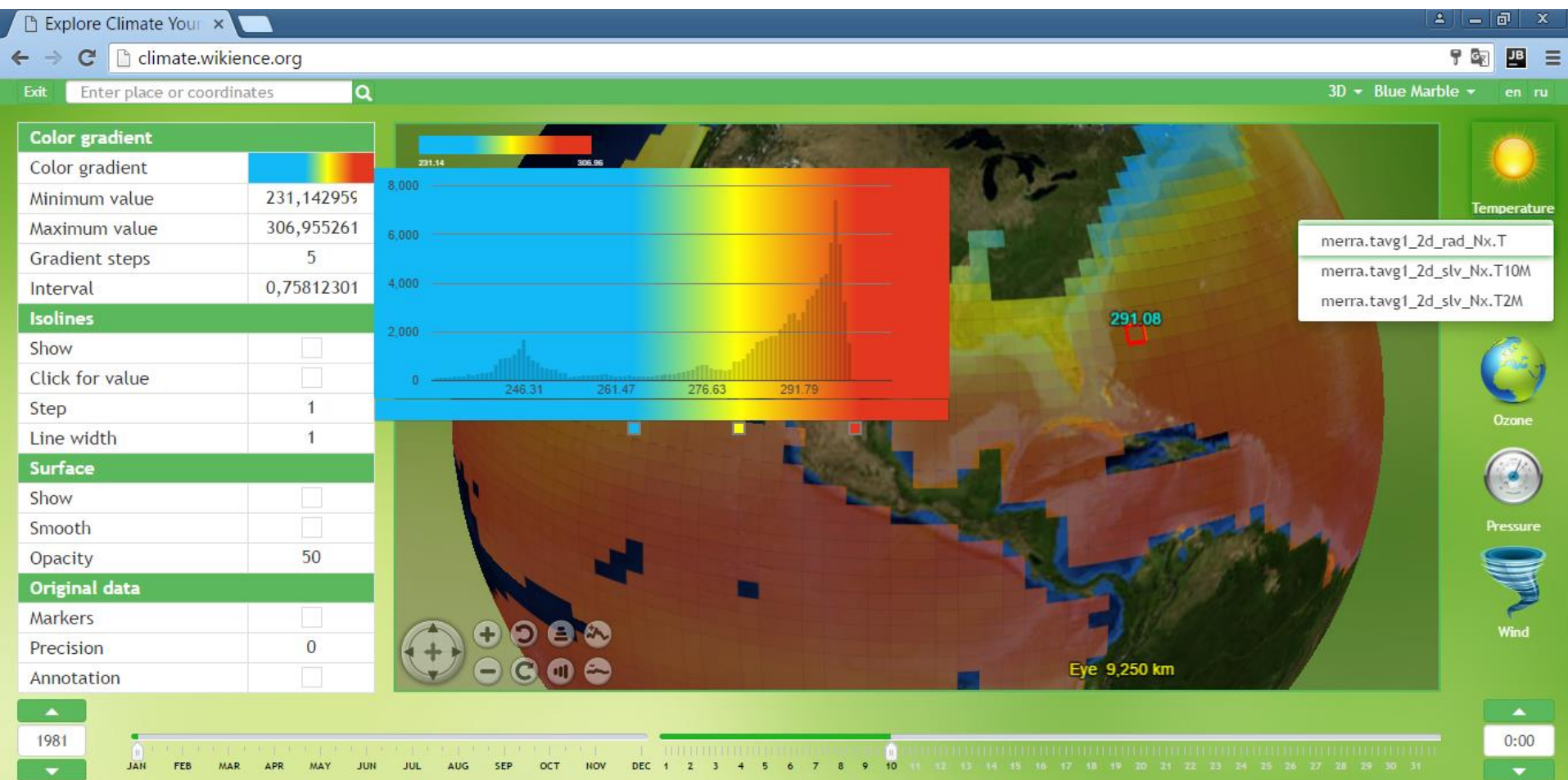


# Дальнейшая работа – web версия

**Особенность – передача «сырых» растровых данных**

**Java + Netty + WebSocket + Google ProtoBuf + JavaScript ByteArray + NASA WebWW + JavaScript + WebGL**

**Тестовый доступ – <http://climate.wikience.org/>**





NATIONAL RESEARCH  
UNIVERSITY

Thank you  
for your attention!



# Анализ динамики CO<sub>2</sub> над всем Земным шаром

Тренды (метод STL) для временного ряда

фиксированной ячейки

$$V = \langle V_1, V_2, \dots, V_{98} \rangle$$

любой ячейки

$$W = \langle W_1, W_2, \dots, W_{98} \rangle$$

$$\Delta \text{ppm} = \sum (v_i - w_i) / 98$$

Прибавив минимальный  $\Delta \text{ppm}$  ко всем остальным, получим