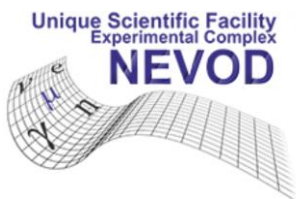


Национальный исследовательский  
ядерный университет «МИФИ»

Научно-образовательный центр «НЕВОД»

## Исследование атмосферных процессов методом азимутального сканирования

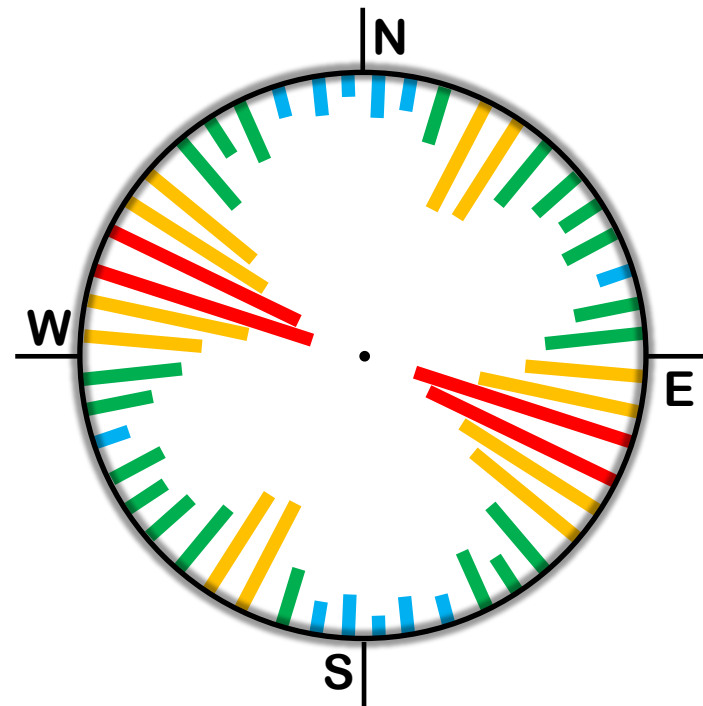
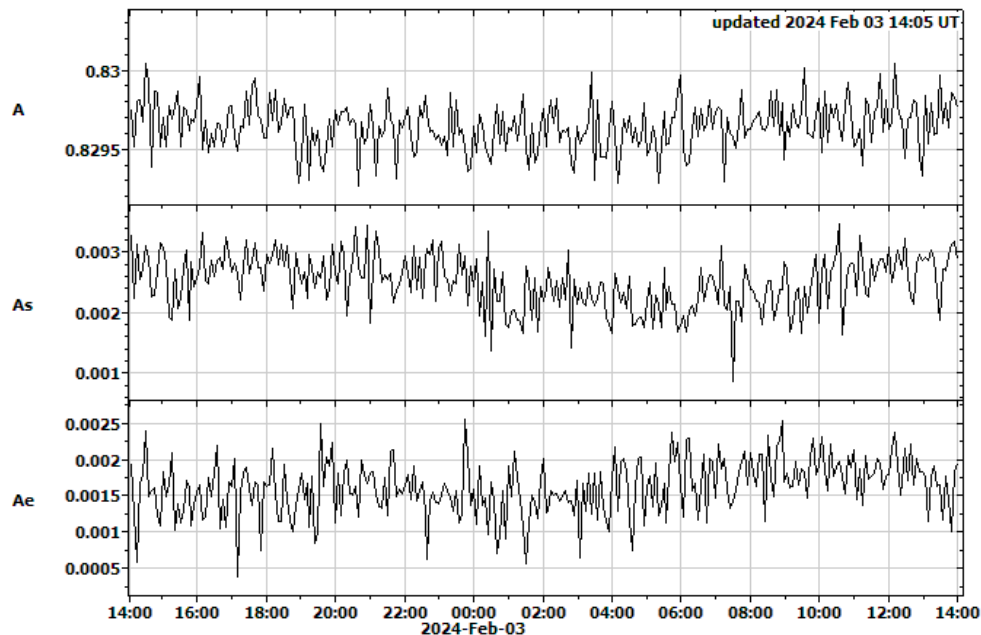
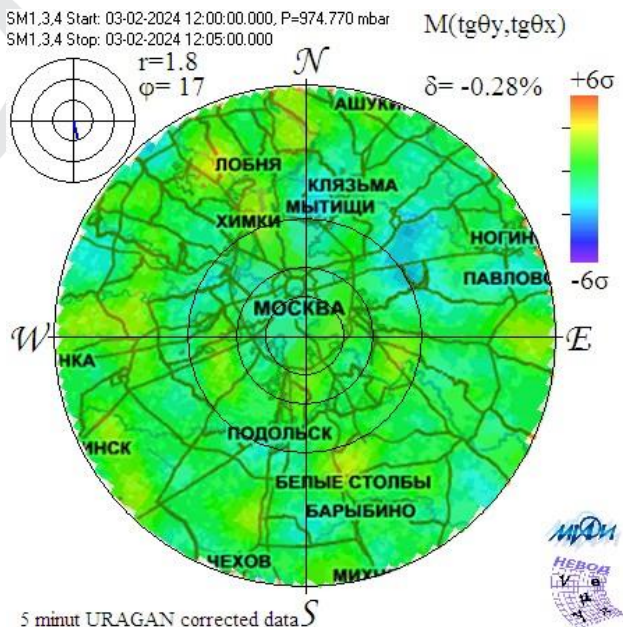
Тимаков С. С., Петрухин А. А.  
sstimakov@mephi.ru



Москва, 01.07.2024



# Методы мюонной диагностики



## Мюнография

Рассматривается поток с каждого направления

**Слабая статистика**

## Анализ интегральных рядов

Рассматривается весь поток мюонов

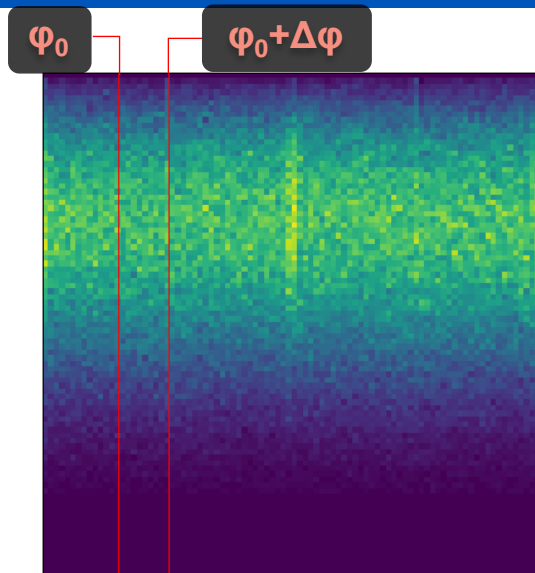
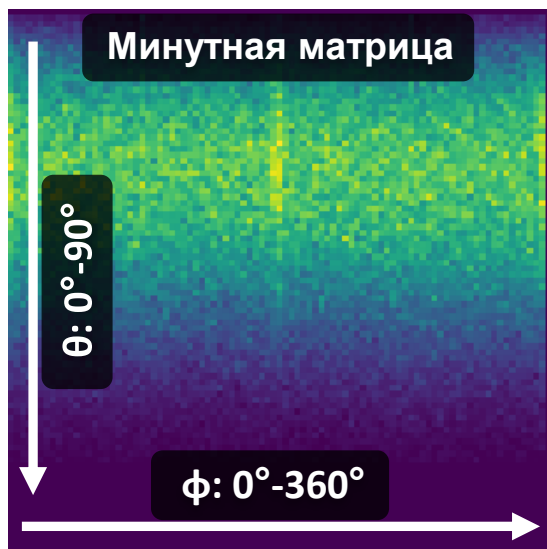
**Почти никакой информации о направлениях**

## Метод азимутального сканирования

Анализ потока мюонов со всех зенитных углов и отдельных азимутальных

**Компромисс между информацией о направлениях и статистикой**

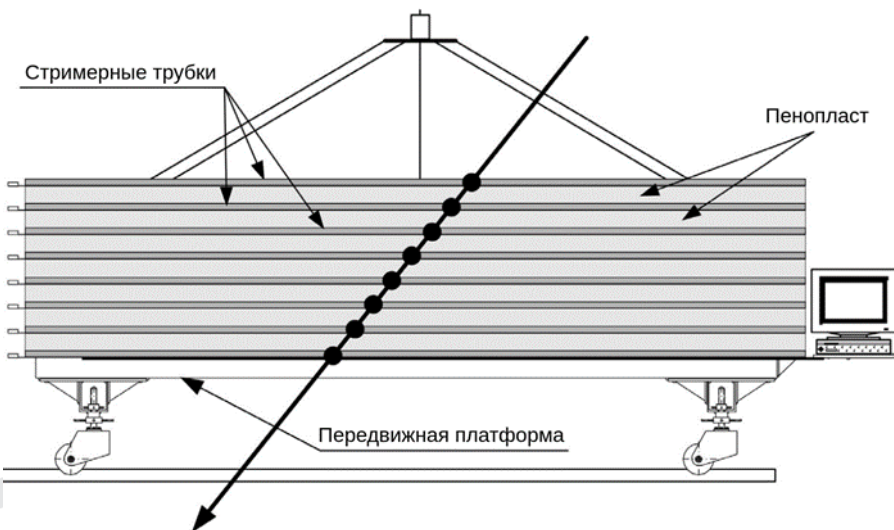
# Дифференциальные временные ряды



Получаем ряд скорости счета для заданного направления

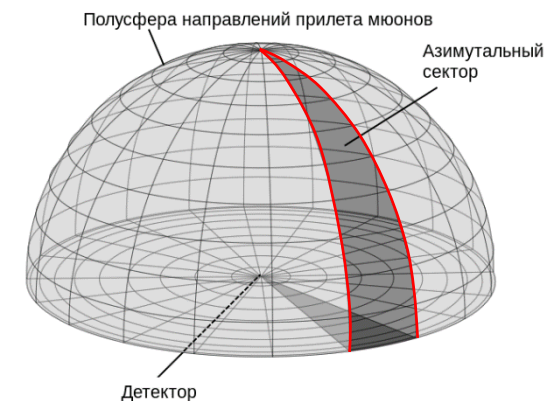


Одна матрица соответствует одной точке временного ряда



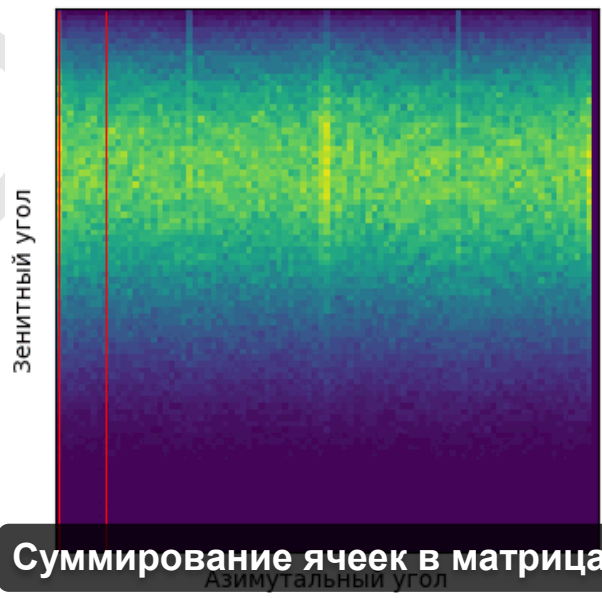
## Мюонный годоскоп УРАГАН

- Непрерывная регистрация
- Около 4500 мюонов в секунду
- Состоит из 3 СМ: 8, 10, 11

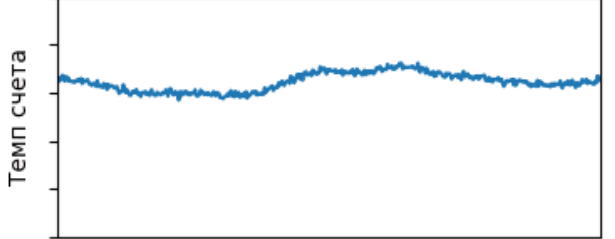


# Сканирование

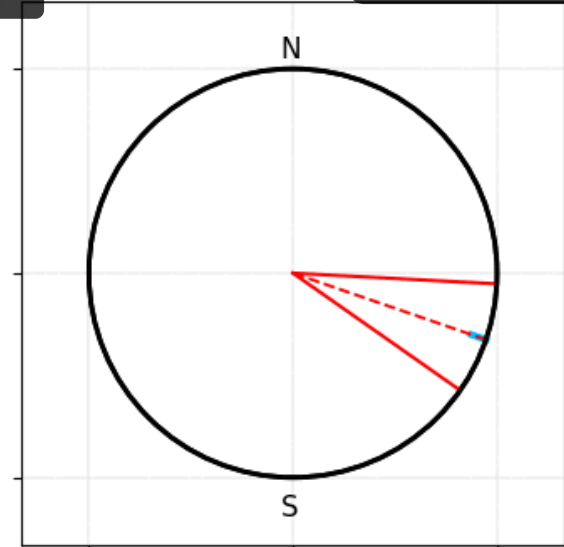
Пунктирная линия – исследуемое направление  
Красные линии – окно суммирования



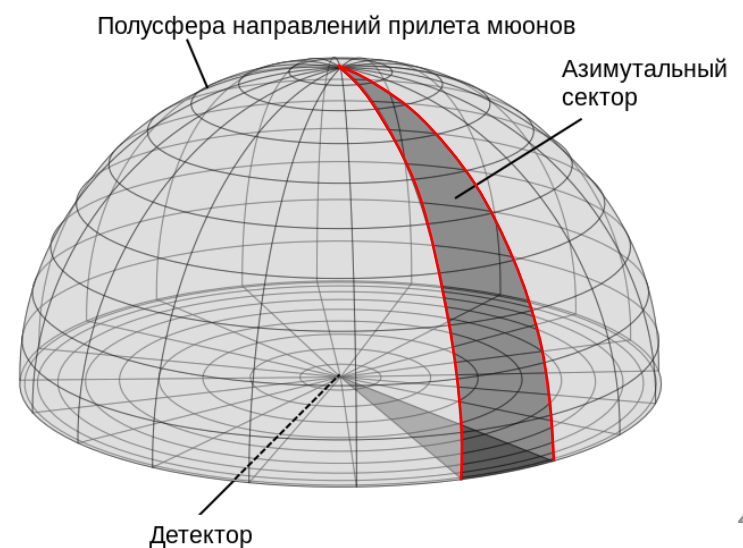
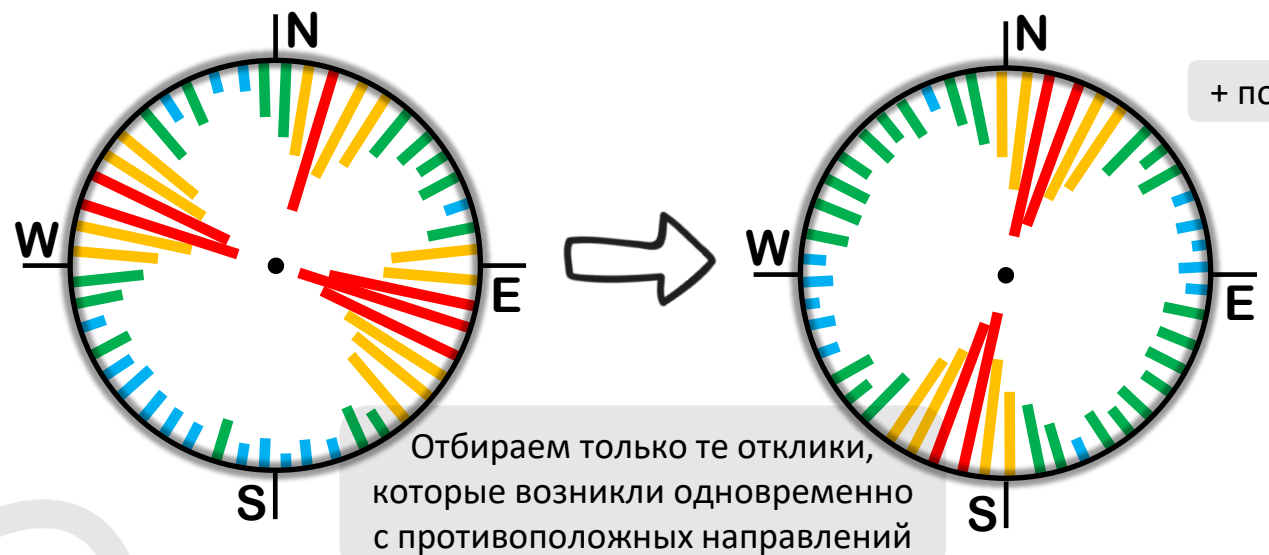
Ряды скорости счета мюонов в плоскостях

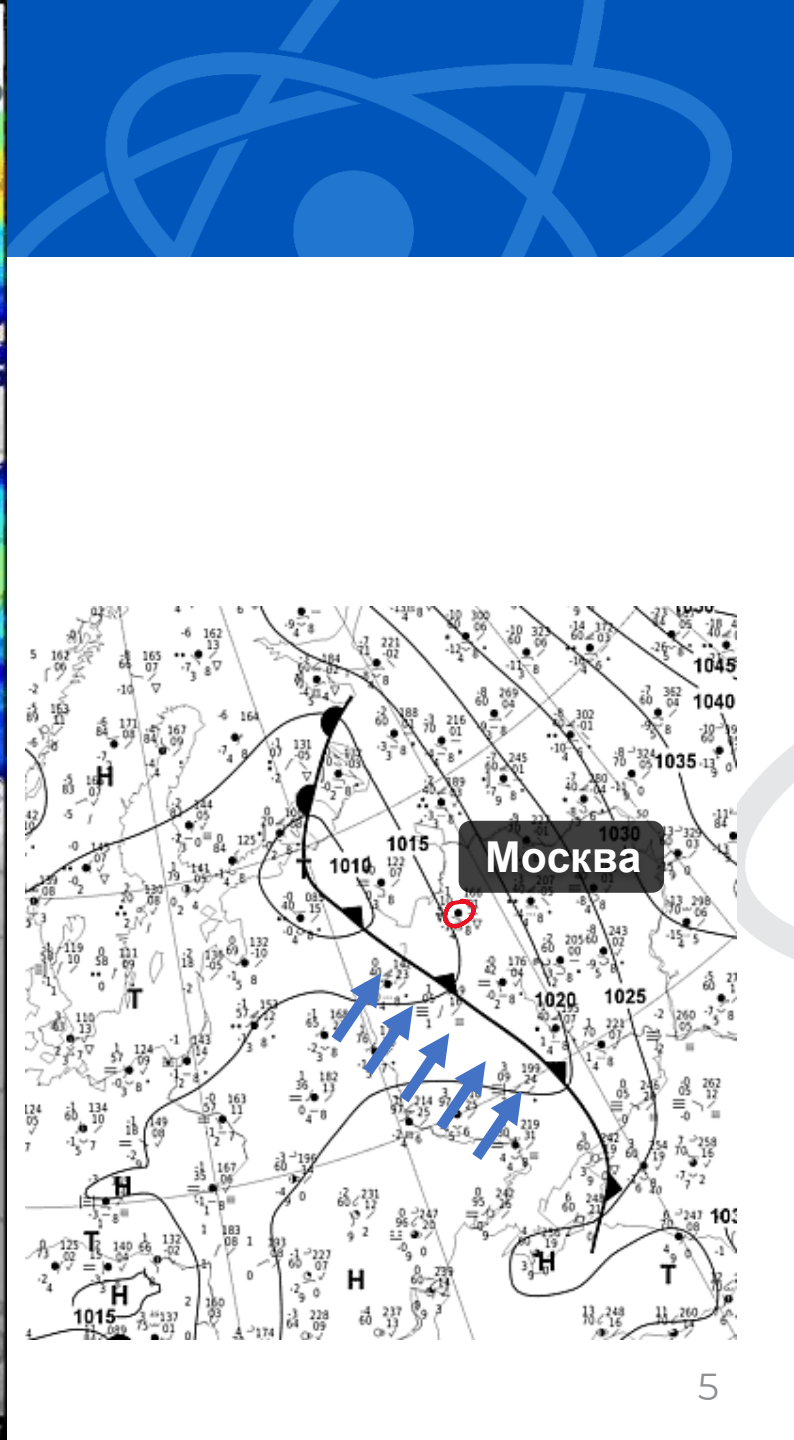
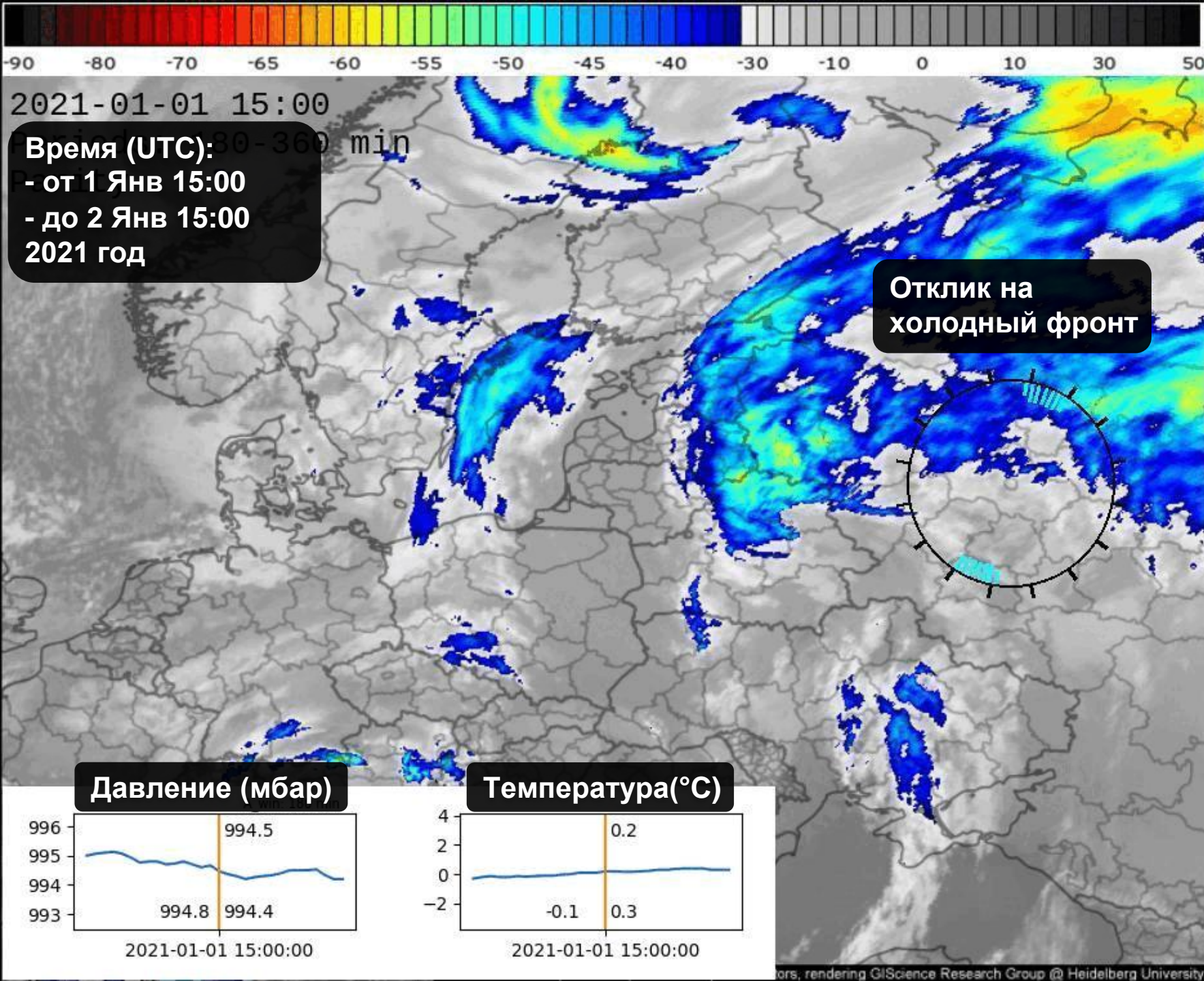


Матрицы вейвлет-коэффициентов

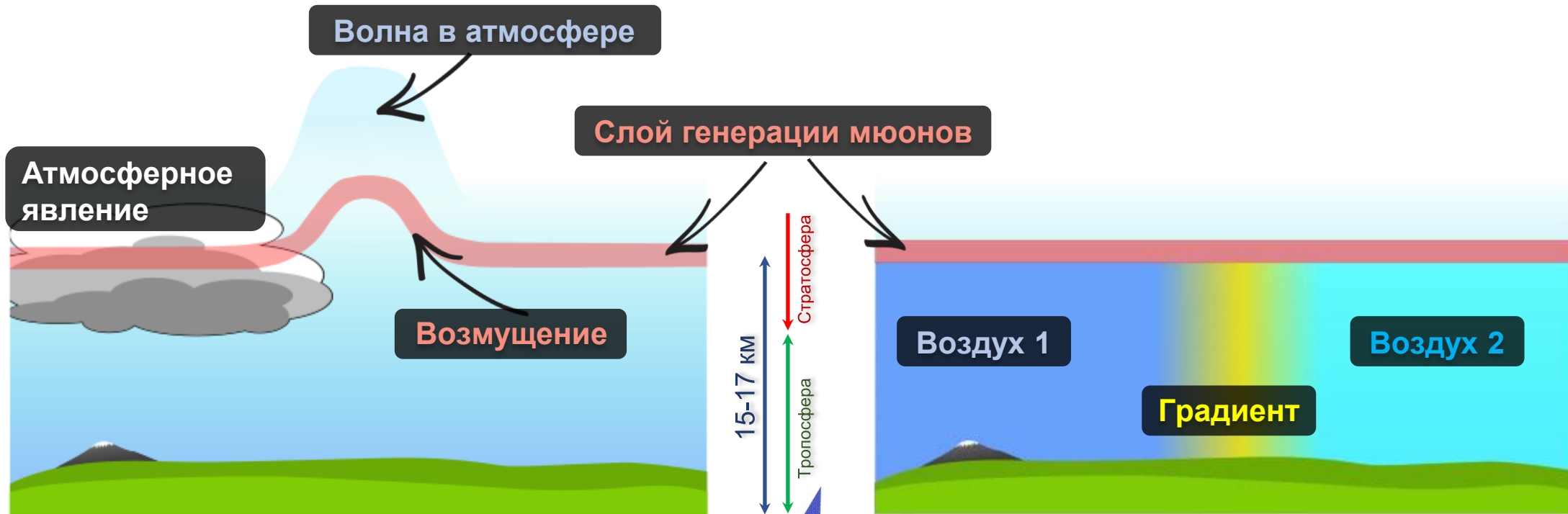


Отклики на каждое направление — возмущение потока мюонов с каждого конкретного угла





# Возможные причины откликов



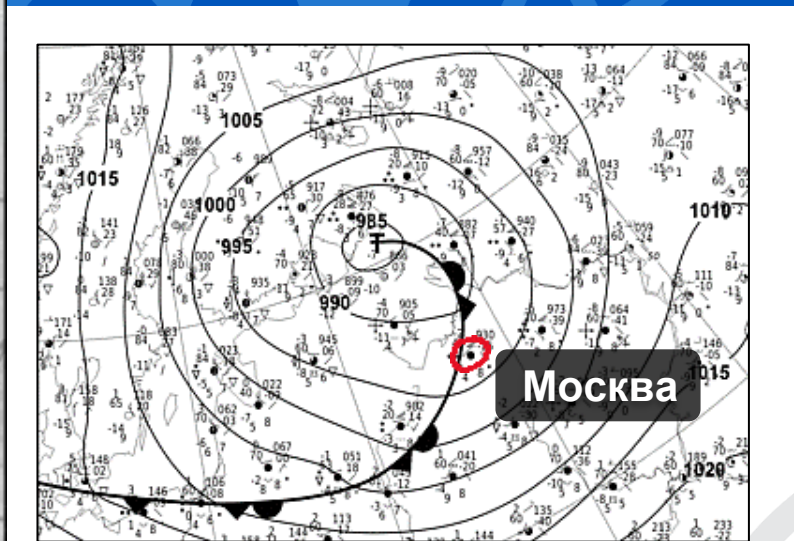
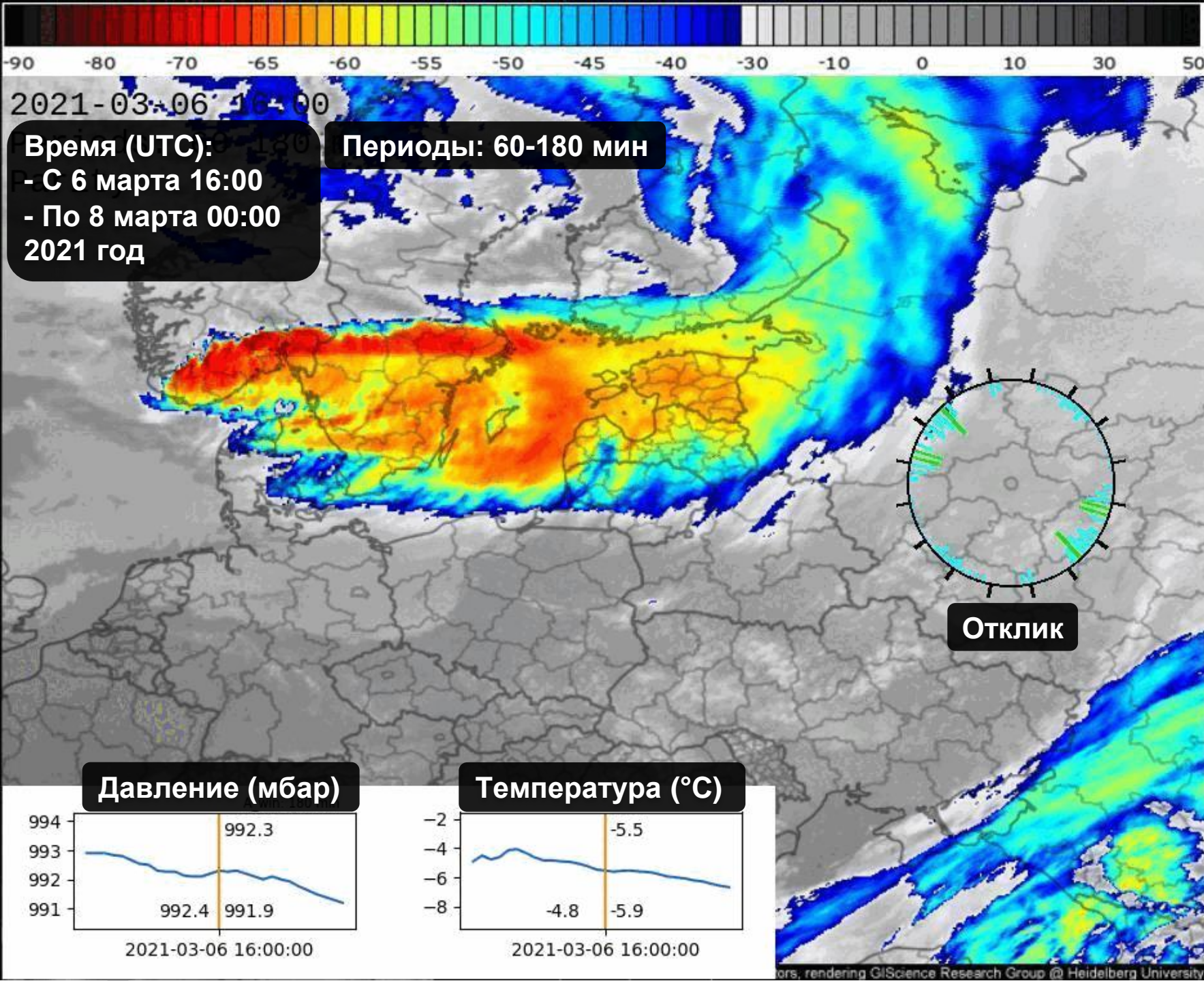
*Волна в слое генерации мюонов*

- Возможное явление: ВГВ
- Исследуется стратосфера

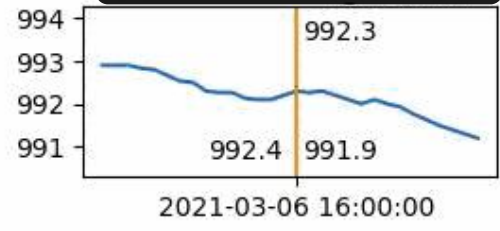
*Достаточно резкий градиент характеристик атмосферы на всем пути следования мюонов*

- Возможное явление: атмосферный фронт
- Исследуется тропосфера

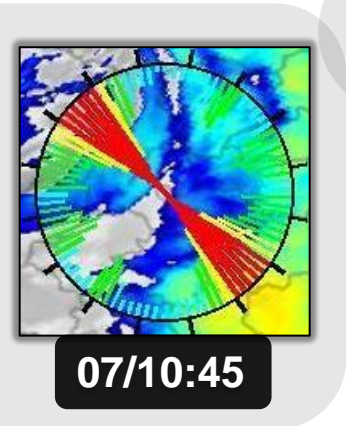
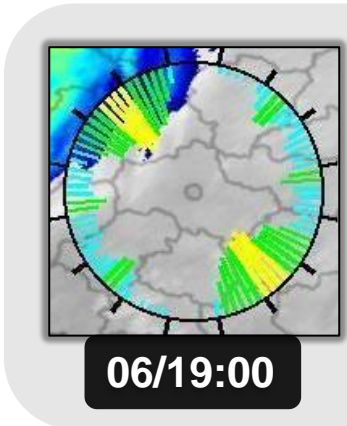
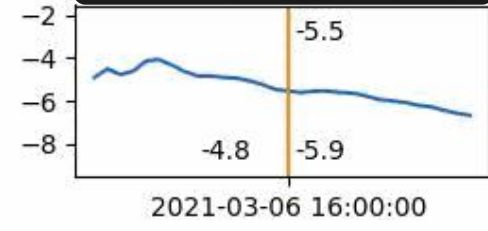
Чем лучше явление описывается вертикальной плоскостью, тем выше шанс его регистрации методом



**Давление (мбар)**

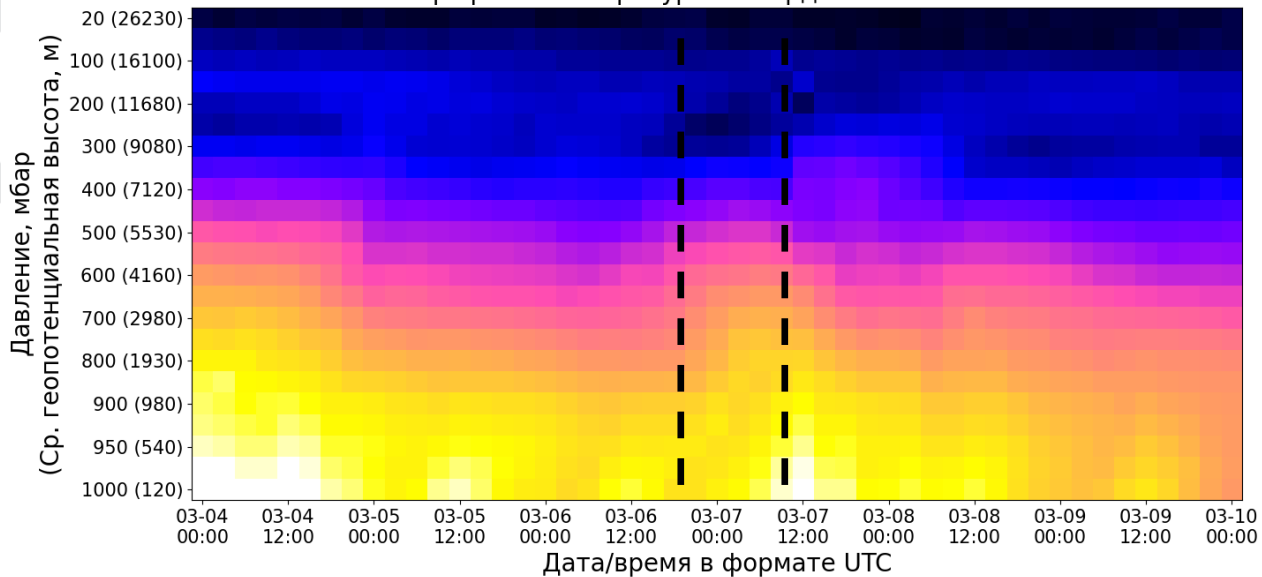


**Температура (°C)**

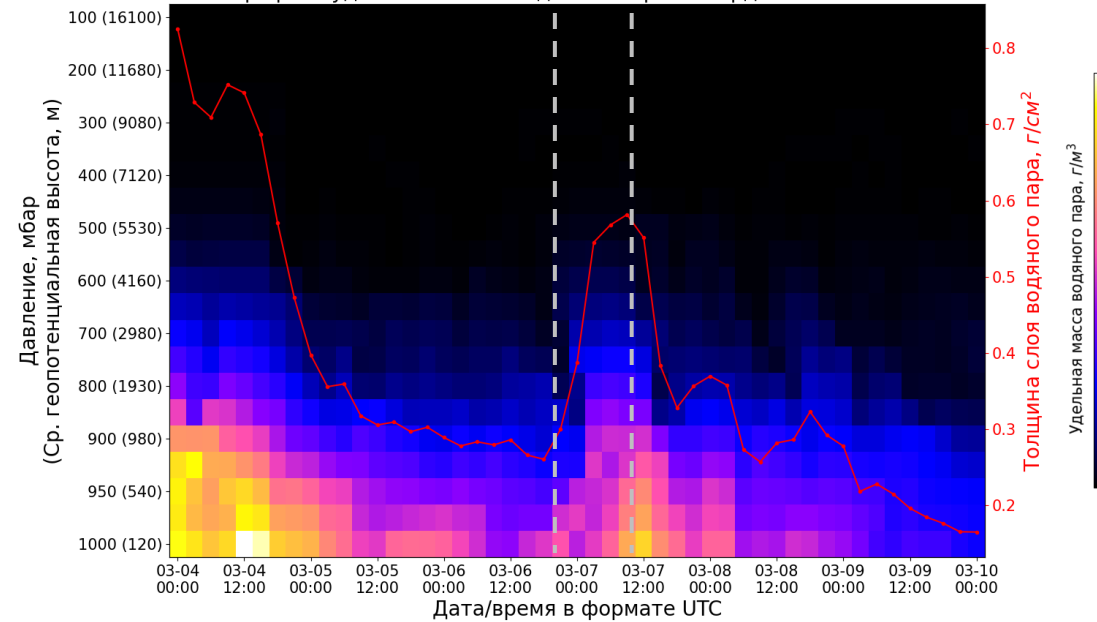


# Профили 2021-03 с 4 по 10 (GDAS)

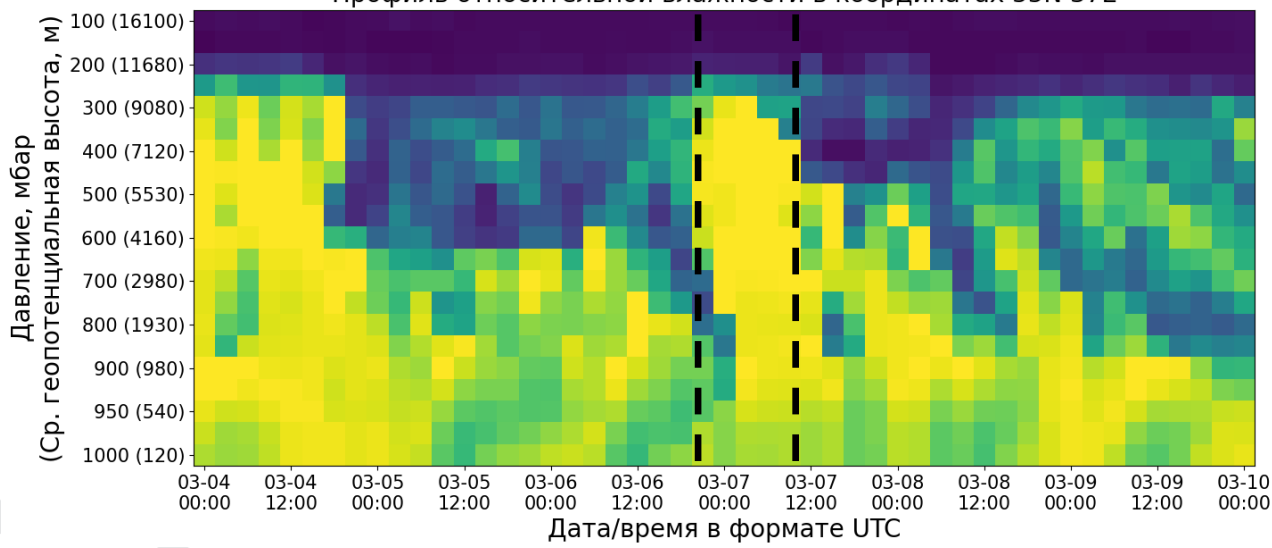
Профиль температуры в координатах 55N 37E



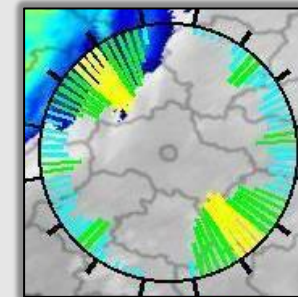
Профиль удельной массы водяного пара в координатах 55N 37E



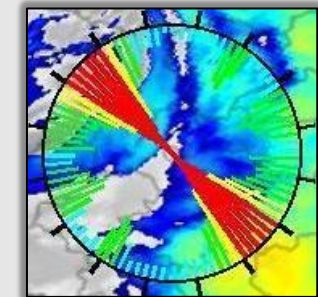
Профиль относительной влажности в координатах 55N 37E



Отклики

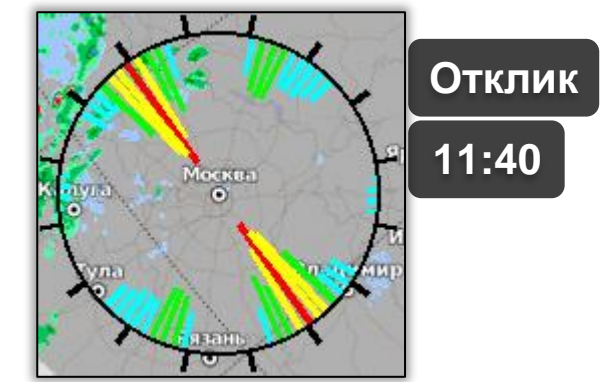
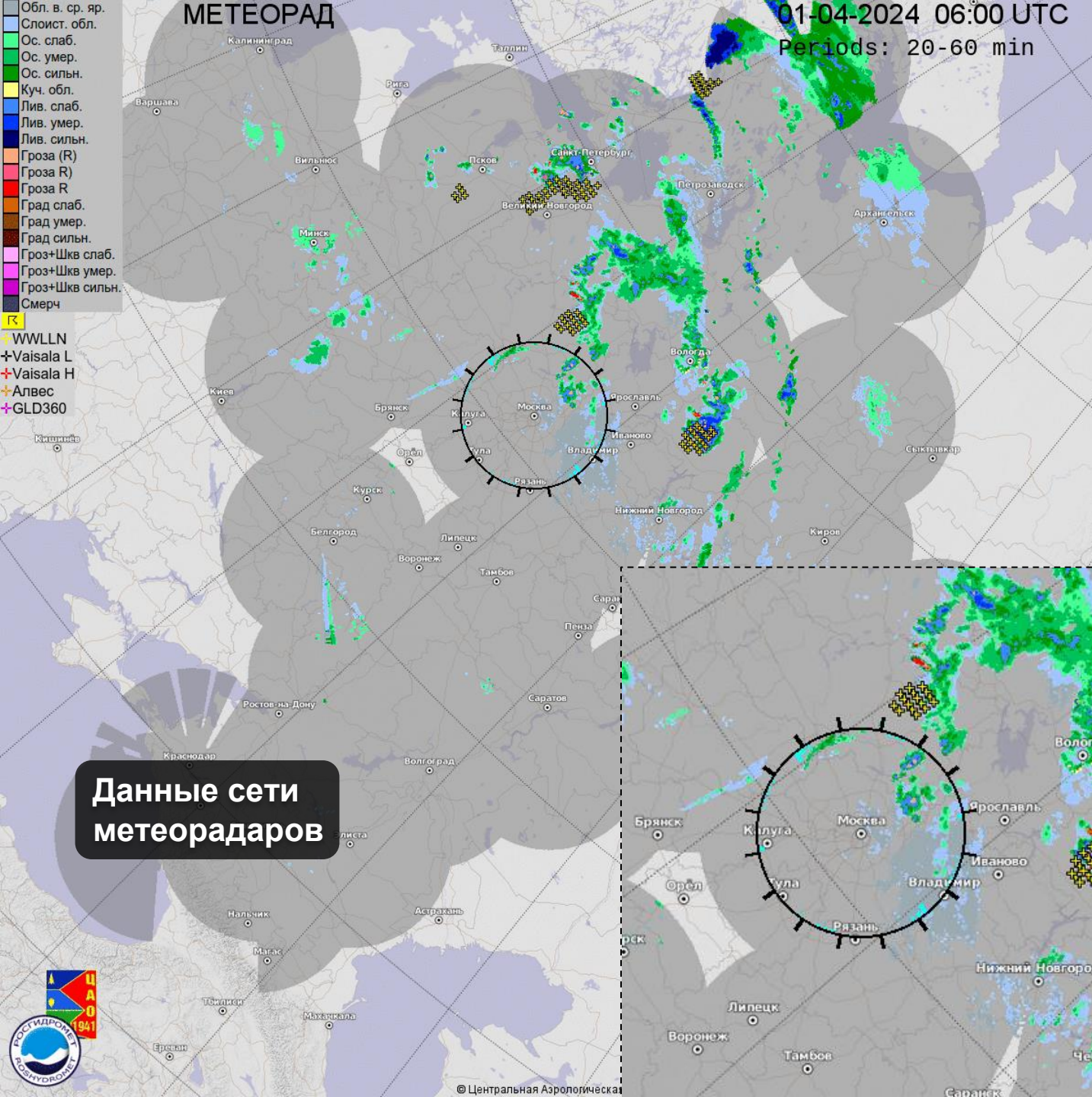


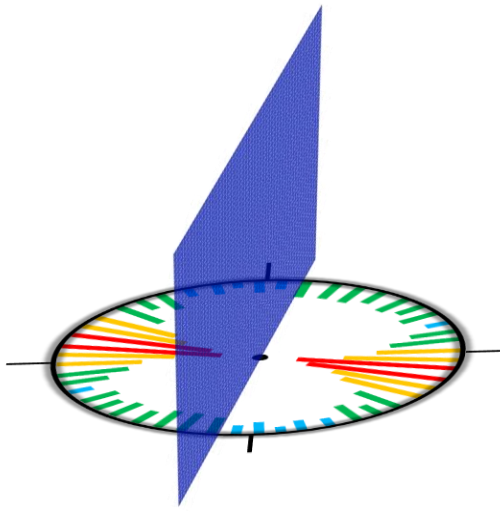
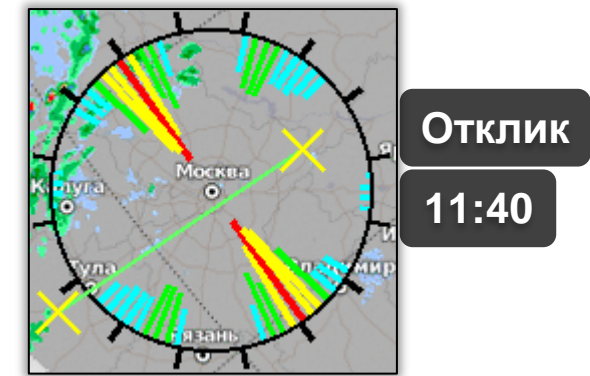
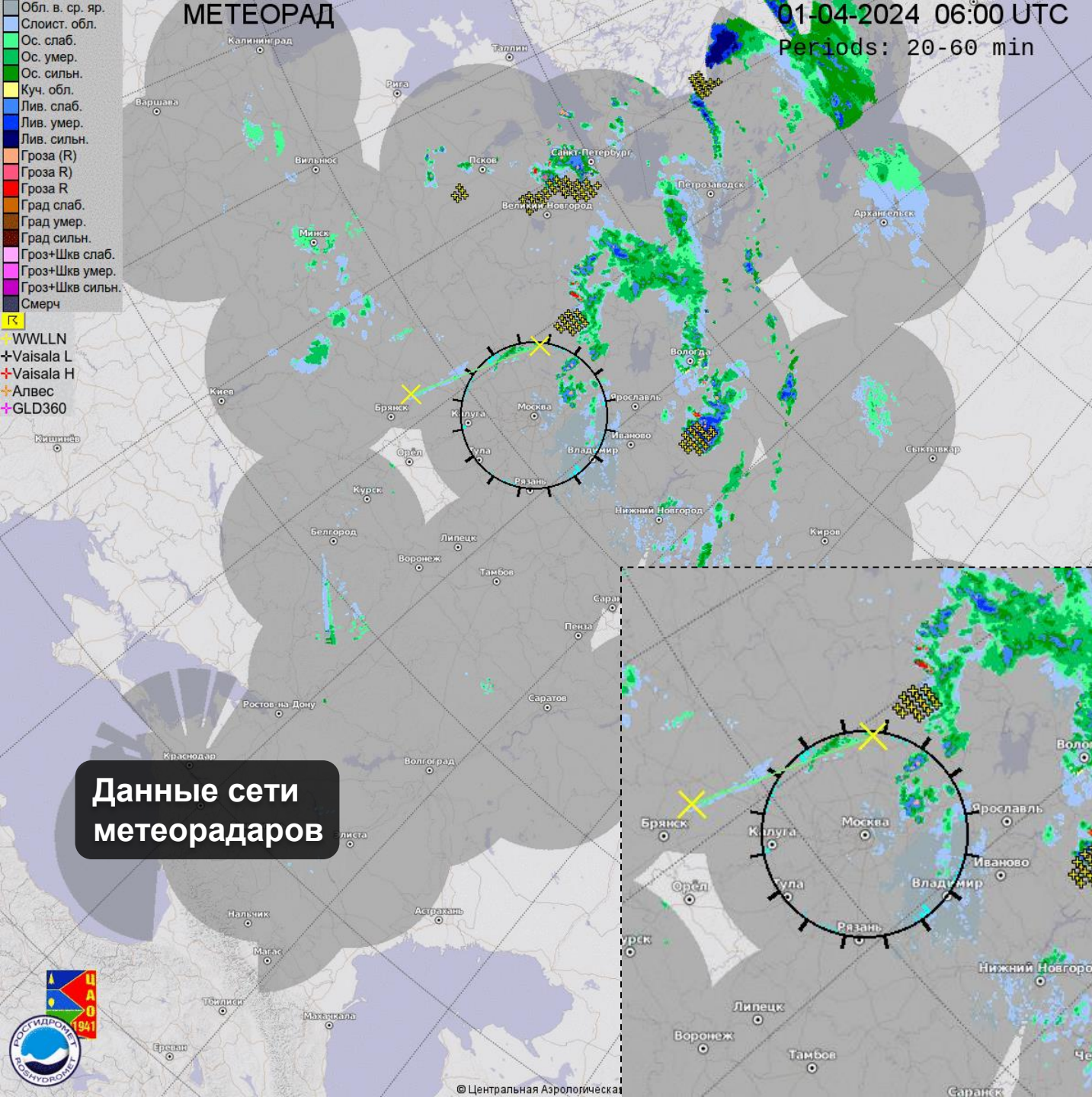
06/19:00

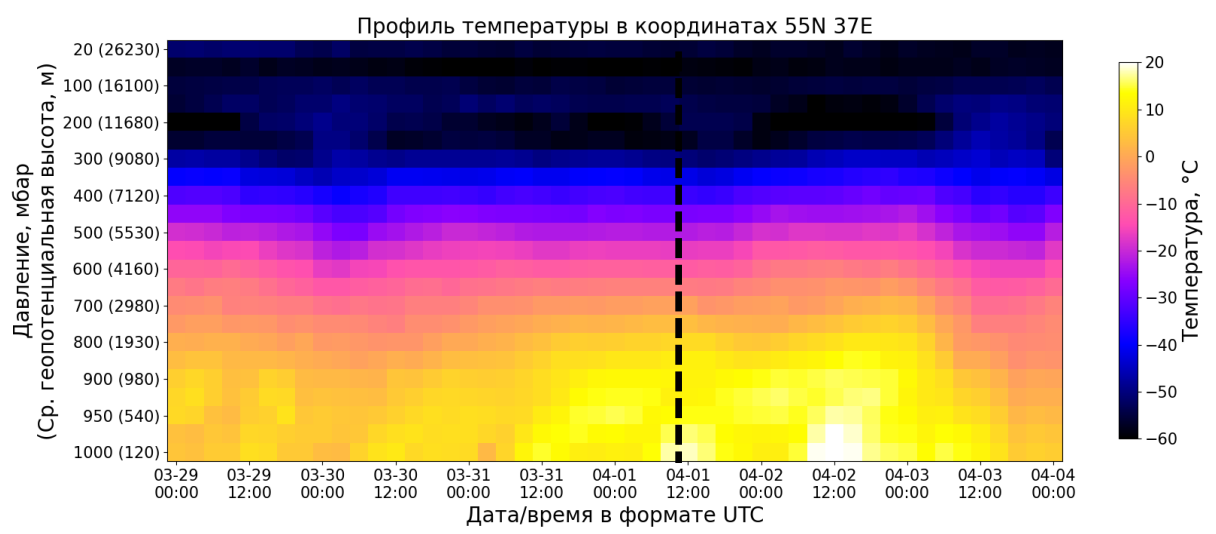
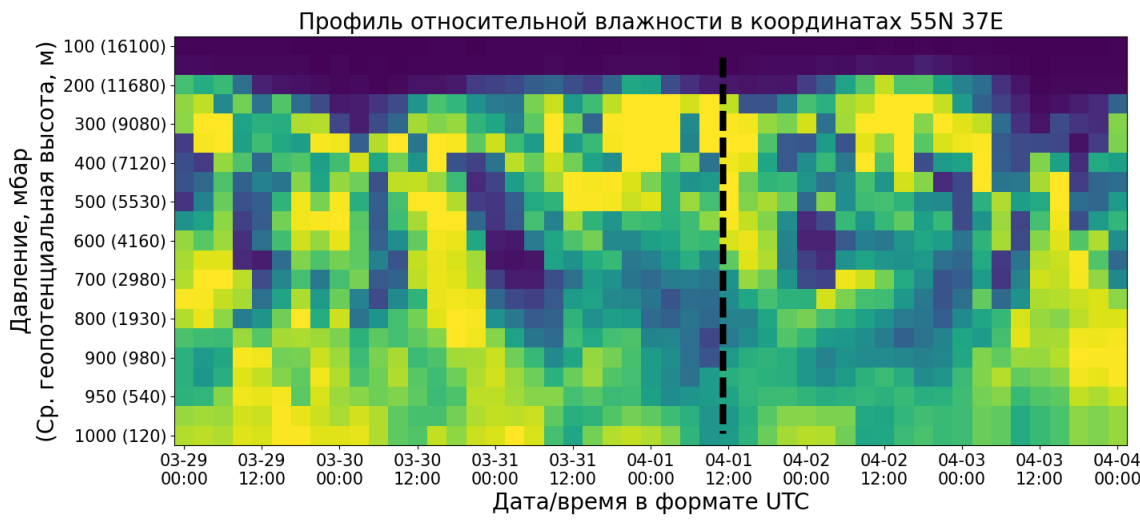
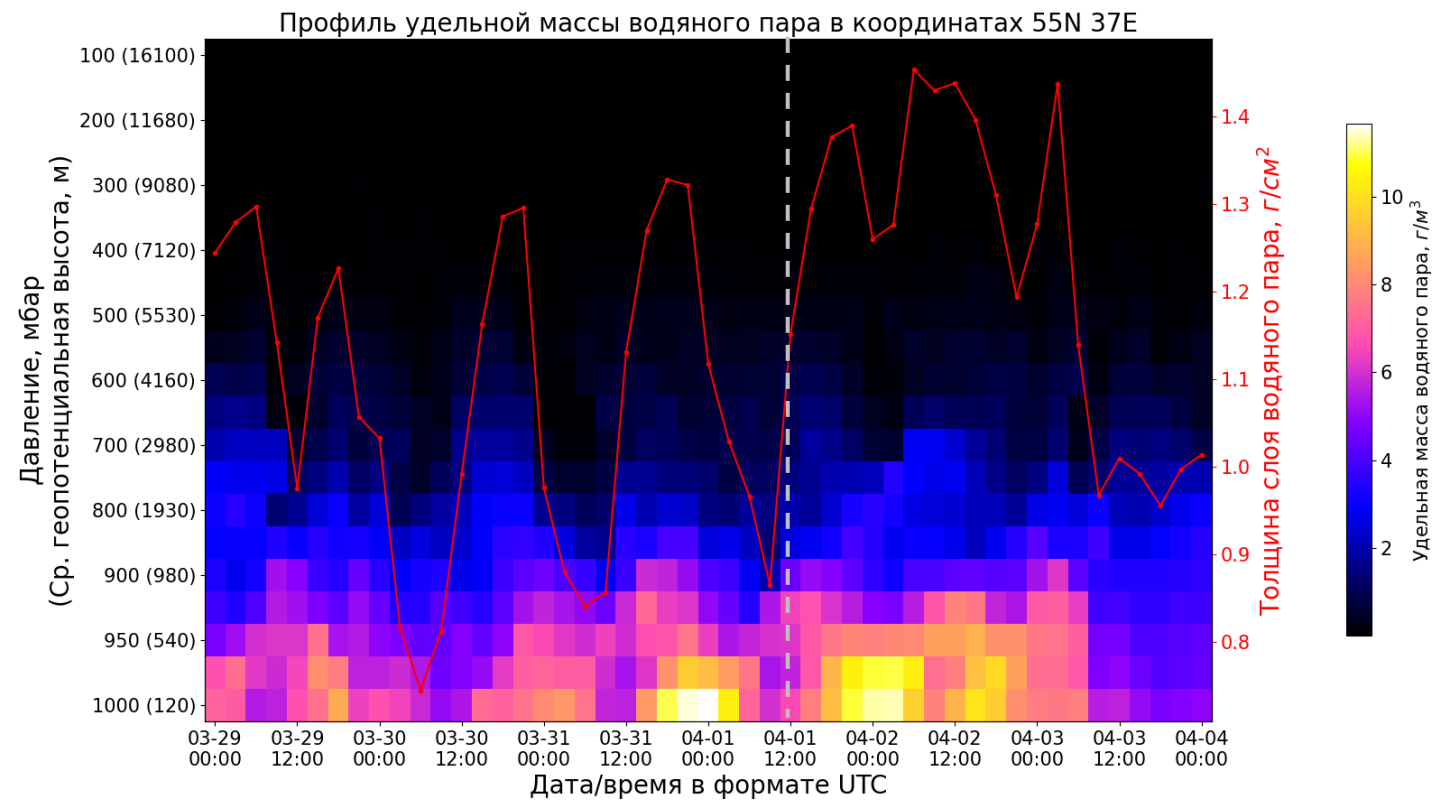
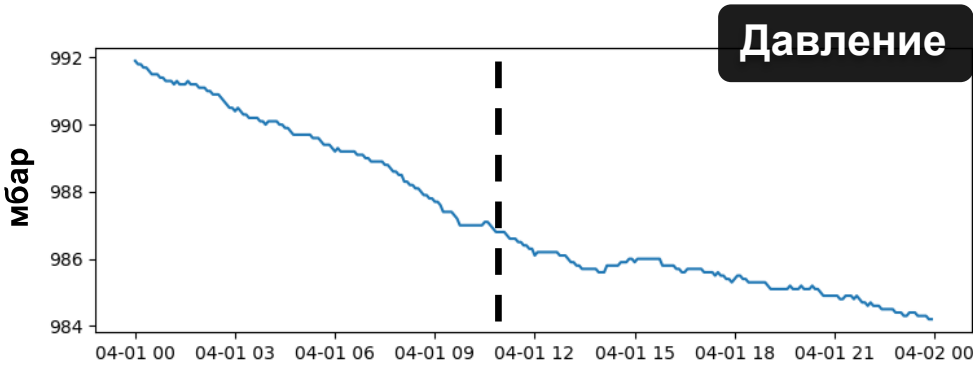
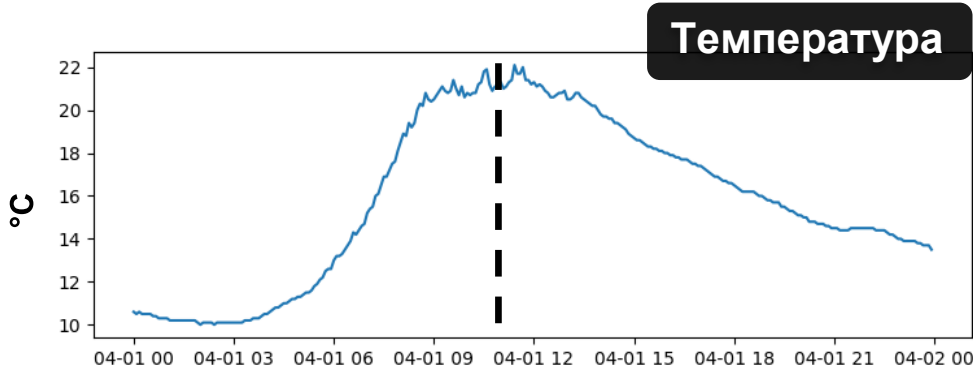


07/10:45









# Заключение

На текущий момент метод азимутального сканирования позволяет:

- Обнаруживать некоторые атмосферные явления
- Позволяет устанавливать направление движения обнаруженных атмосферных явлений
- Имеет большие возможности для масштабирования: может применяться на любом детекторе, разделяющем мюоны по азимутальным углам

Источник откликов пока что не ясен:

- **В случае градиента:** сигнал возникает не всегда, может не возникать на крупные фронты с резким градиентом, может возникать при прохождении относительно маленьких фронтов
- **В случае волны в слое генерации:** нет достоверной информации о наличии такой волны, только косвенные признаки

# Спасибо за внимание!

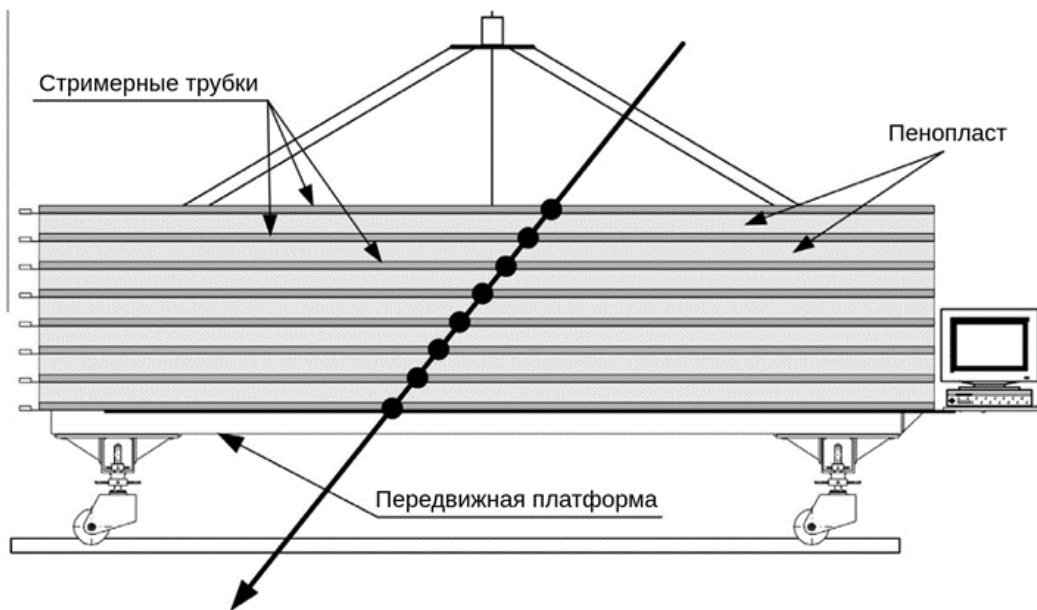
## Исследование атмосферных процессов методом азимутального сканирования

Тимаков С. С., Петрухин А. А.  
sstimakov@mephi.ru

Москва, 01.07.2024

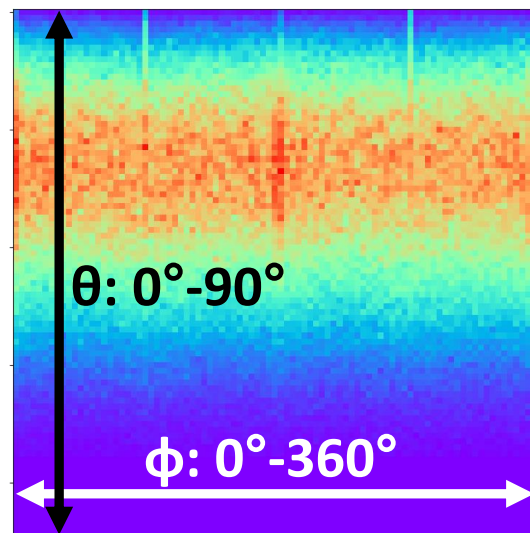


# Мюонный годоскоп УРАГАН

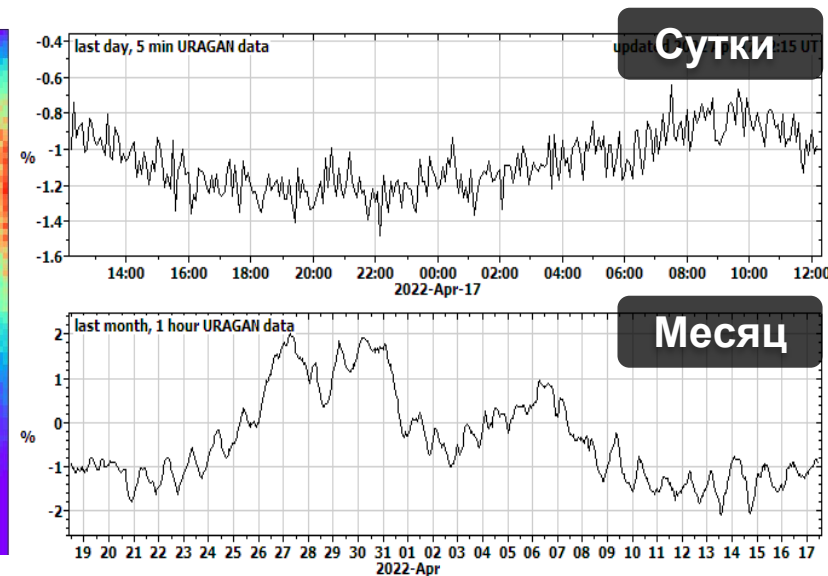


Схематическое изображение регистрации частицы

- Непрерывная регистрация
- Около 4500 мюонов в секунду
- Состоит из 3 СМ: 8, 10, 11



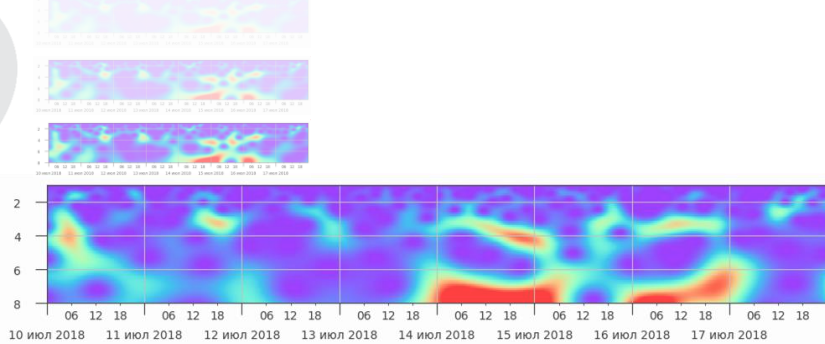
Слева: распределение частиц в матрице зенитно-азимутальных углов  
Справа: ряды интегральной интенсивности (по всем ячейкам)



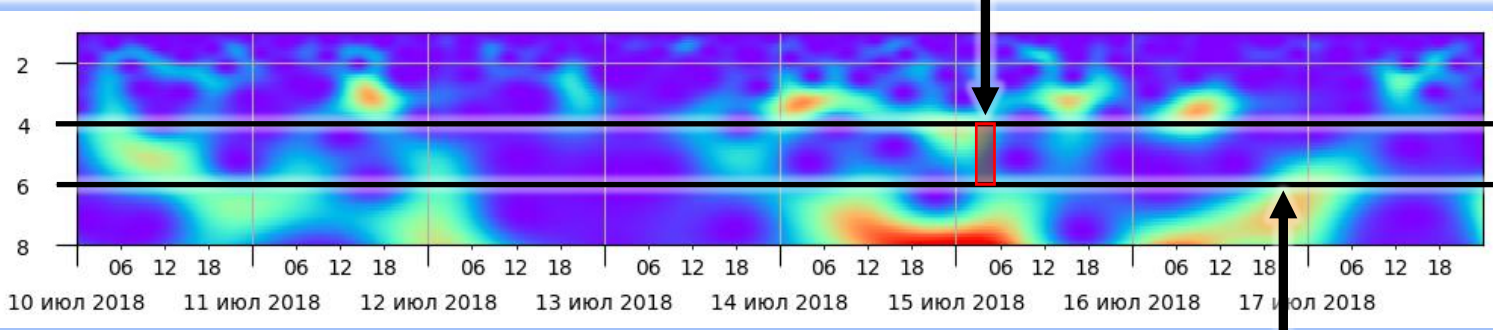
- Матрица угловых ячеек
- Сложение всех ячеек дает **интегральную интенсивность**

# Составляем отклик

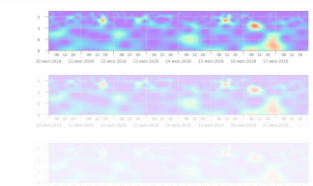
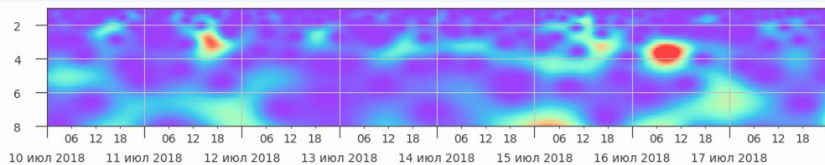
Каждый вейвлет – свое направление – своя палочка



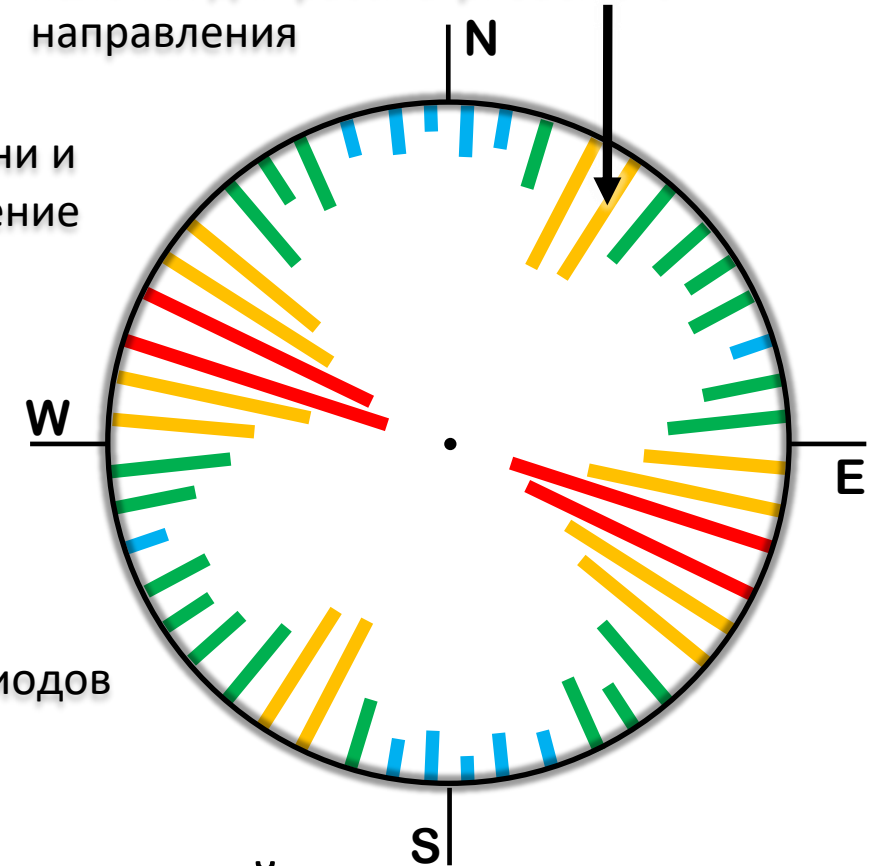
2. Фиксируем момент времени и ищем максимальное значение



1. Выбираем диапазон периодов

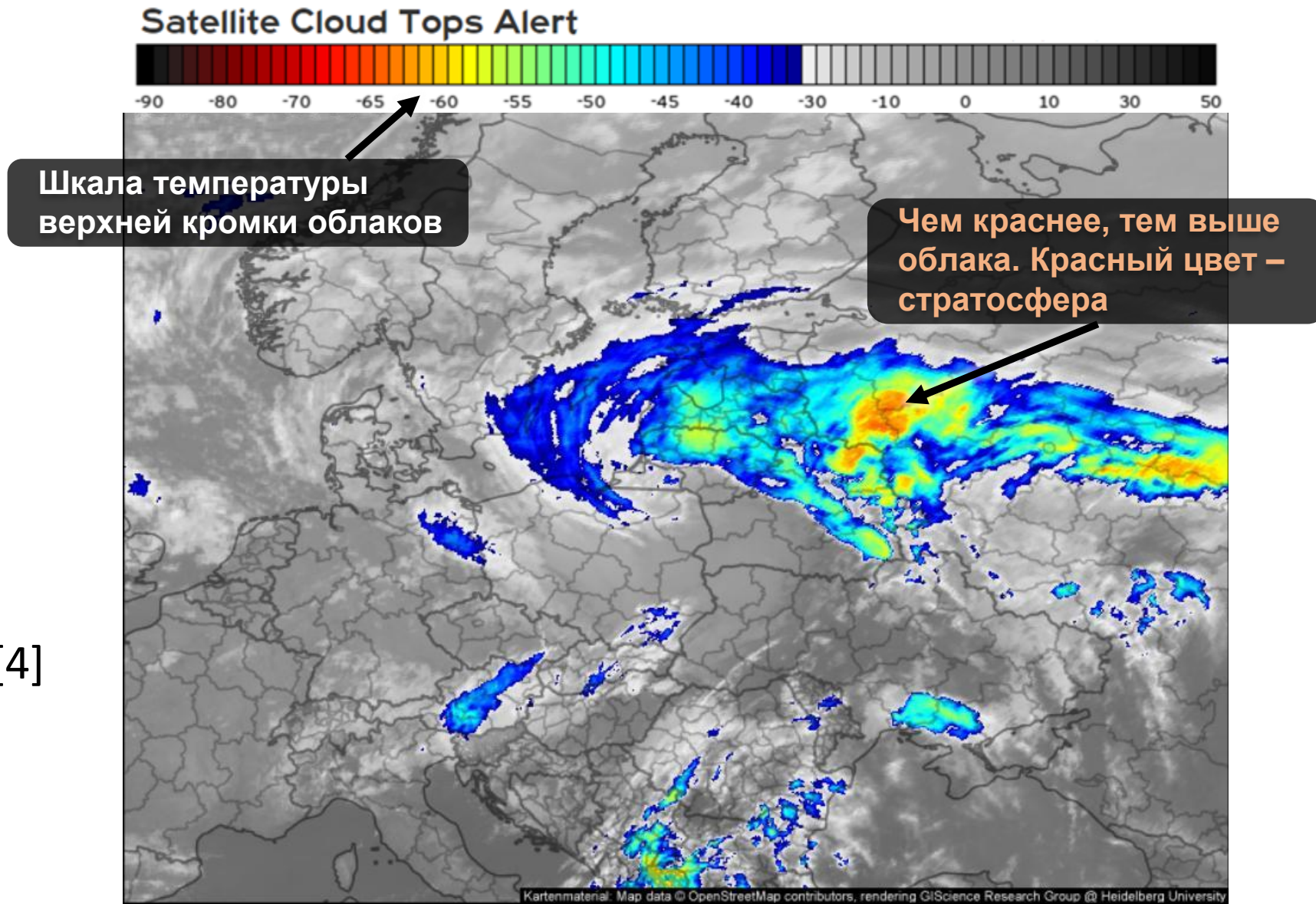


3. Рисуем найденное значение в виде палочки для рассматриваемого направления



- Удобно искать волны с разных направлений
- Цвет палочки зависит от её длины: Г-З-Ж-К

# Cloud Tops Alert



Источник: [4]

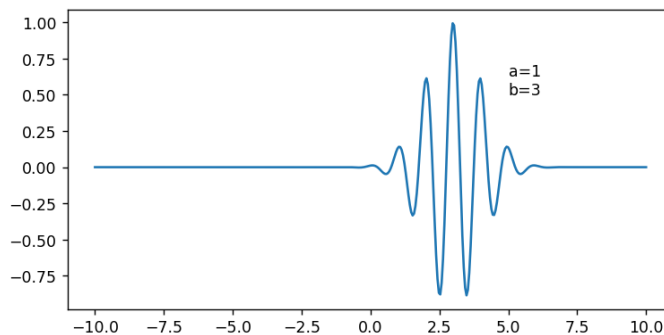
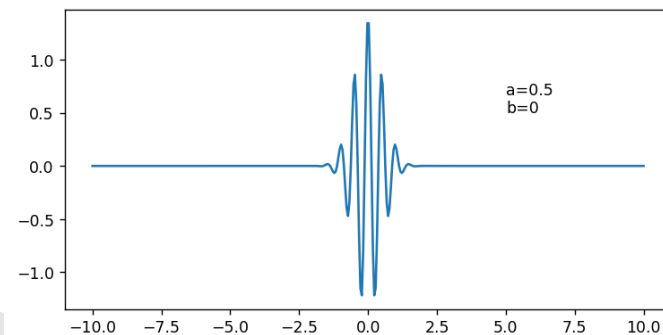
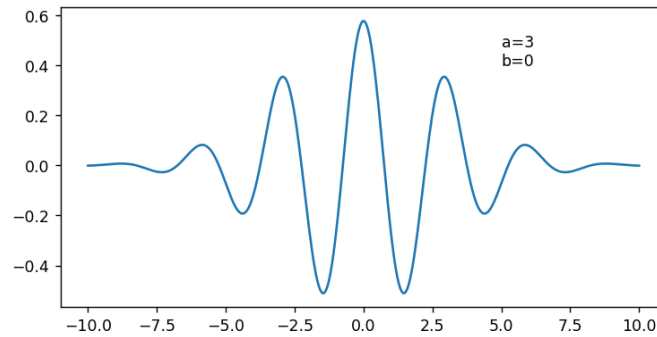
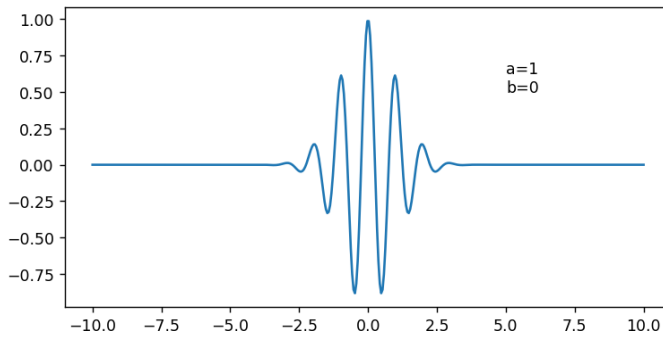


# Вейвлеты

Вейвлет-преобразование – представление сигнала в виде обобщенного ряда по системе базисных функций:

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \text{ где } \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \text{ – материнский вейвлет.}$$

В работе используется комплексный вейвлет Морле:  $\psi(t) = C \exp\left(-\frac{t^2}{\alpha^2}\right) \exp(i\omega_0 t)$



*Реальная часть комплексного вейвлета Морле в зависимости от разных параметров  $a, b$ .*

*По часовой стрелке от верхнего левого:*

- $a=3, b=0$
- $a=1, b=0$
- $a=0.5, b=0$
- $a=1, b=3$