

37 Всероссийская конференция по космическим лучам, 2022

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Научно-образовательный центр «НЕВОД»

Новый подход к мюонографии атмосферы

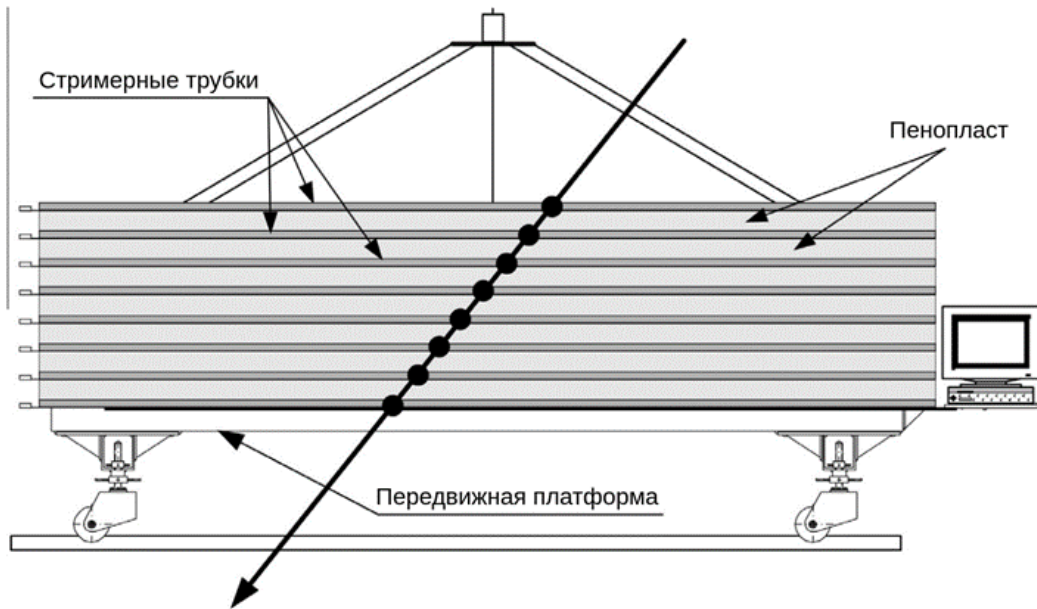
Тимаков С. С., Петрухин А. А.

sstimakov@mephi.ru

Москва, 27.06.2022

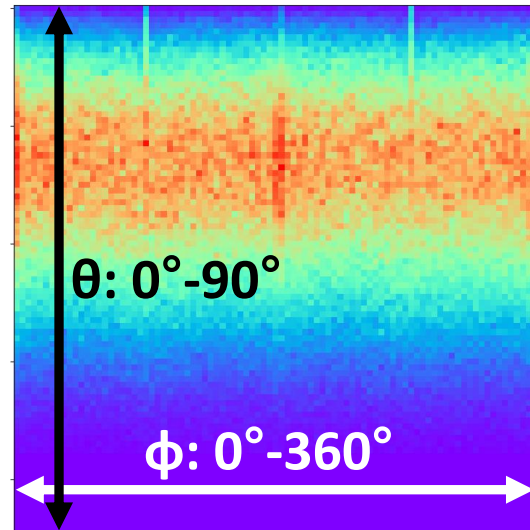


Мюонный годоскоп УРАГАН

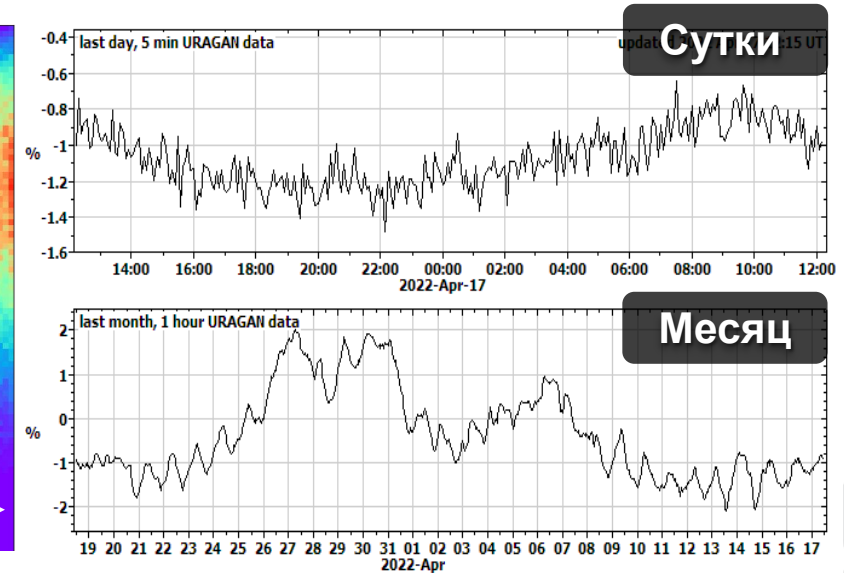


Схематическое изображение регистрации частицы

- Непрерывная регистрация
- Около 5000 мюонов в секунду
- Используется 3 СМ: 8, 10, 11

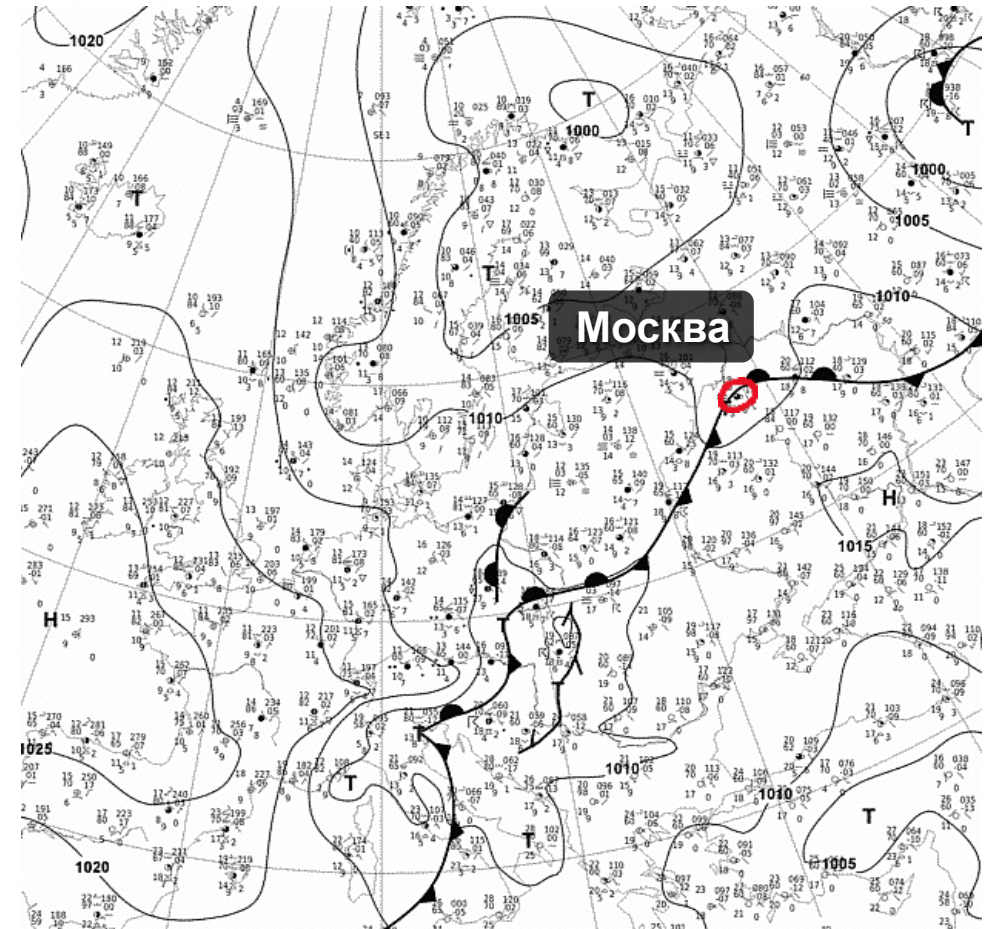
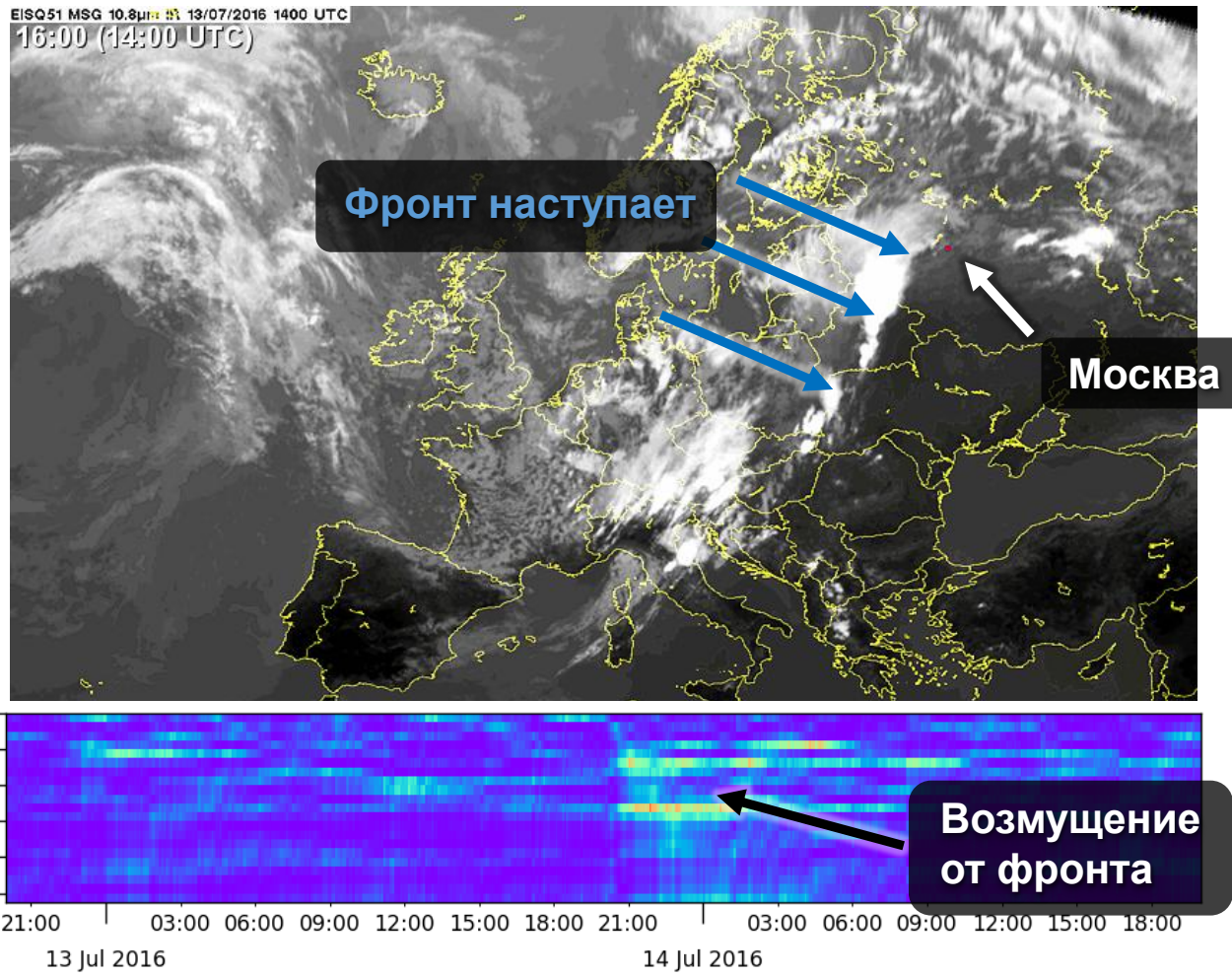


Слева: распределение частиц в матрице зенитно-азимутальных углов
Справа: ряды интегральной интенсивности (по всем ячейкам)



- Угловое распределение в матрице
- Сложение всех ячеек дает **интегральную интенсивность**

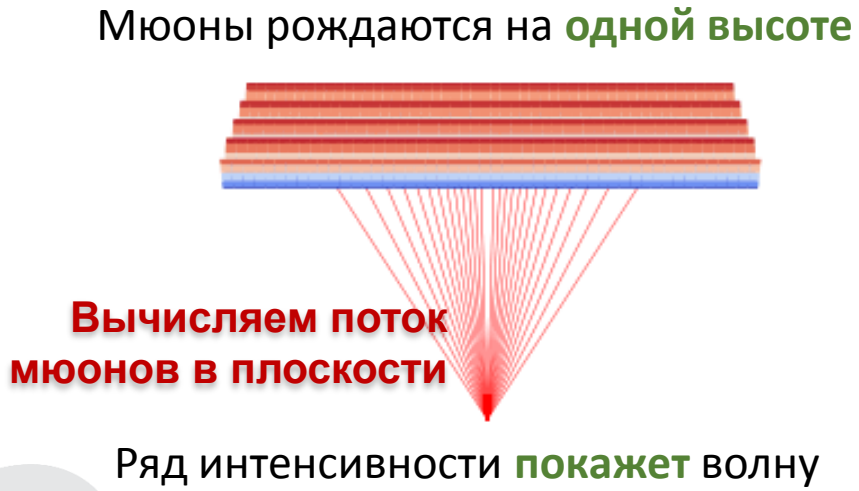
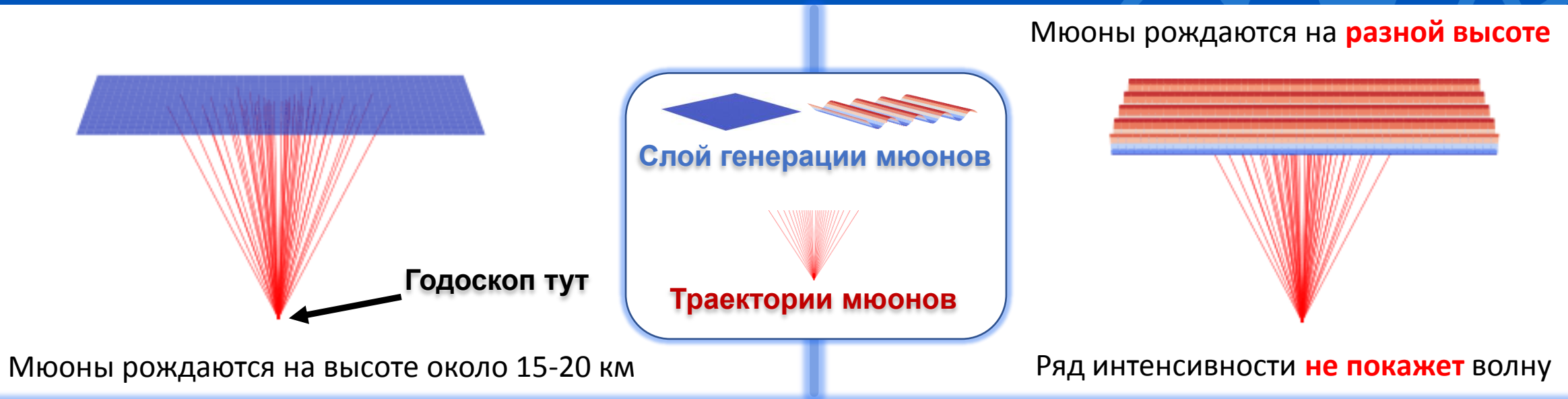
Вейвлеты интегральной интенсивности



Сверху: движение атмосферного фронта на Москву [1]
Снизу: вейвлет интегрального ряда интенсивности [3]

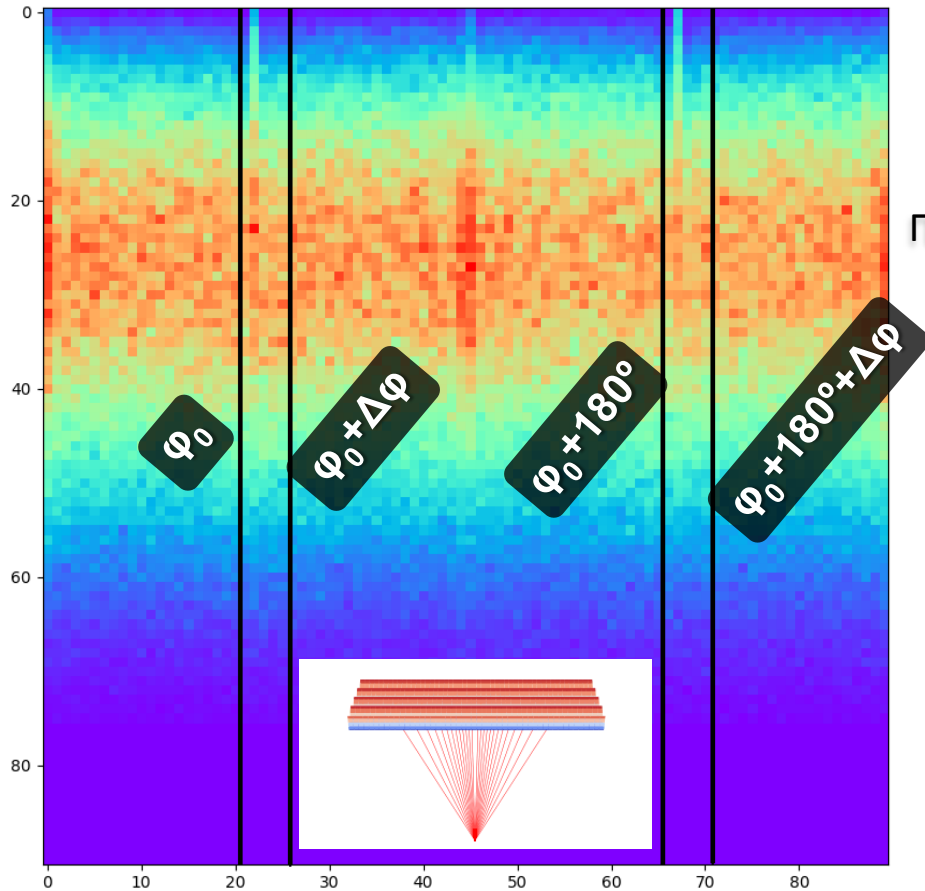
Атмосферный фронт проходит через Москву [2]

Новый подход: «волновой радар»



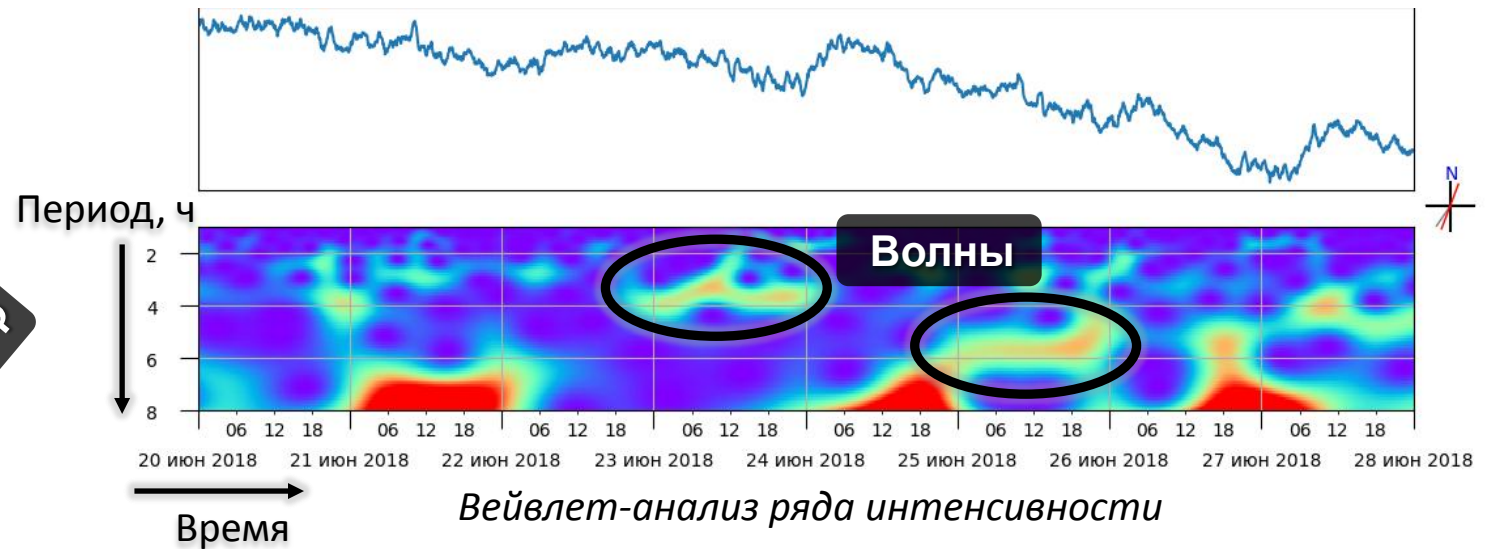
- Складываем мюоны, рожденные на одной высоте
- Мюоны с одной высоты – с одной фазы волны
- Плоскость можно вращать по φ (как «радар»)
- Неопределенность 0-180

«Радар» в матрице



Отбор ячеек в матрице для поиска волн

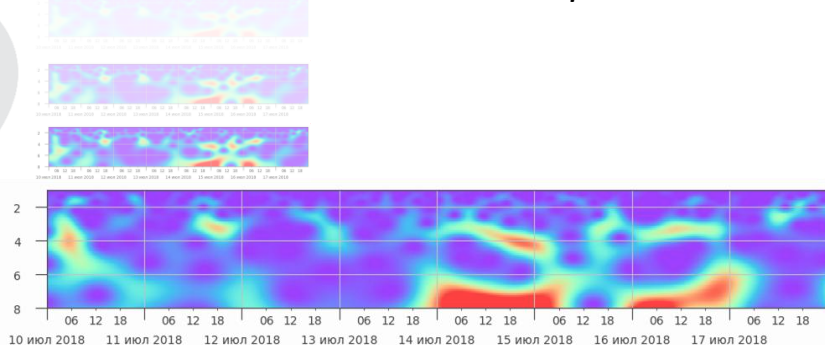
Ряд интенсивности мюонов в выбранной области



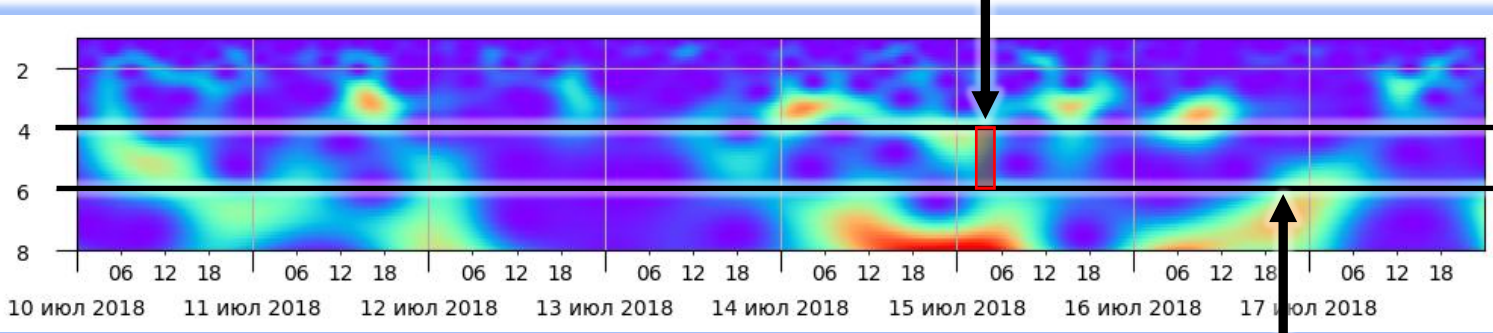
- Новый ряд интенсивности для выбранного угла
- 45 вейвлетов для всех направлений
- Анализ «сырых» вейвлетов малопродуктивен

«Радарный» отклик

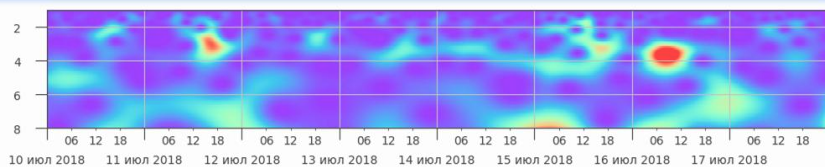
Каждый вейвлет – свое направление – своя палочка



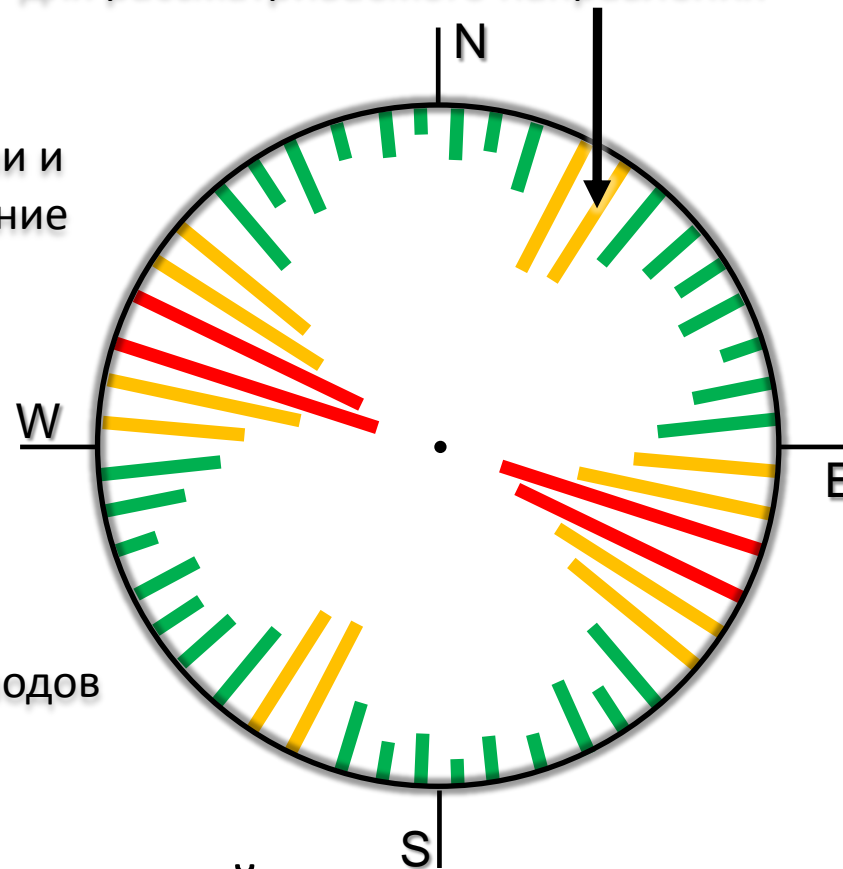
2. Фиксируем момент времени и ищем максимальное значение



1. Выбираем диапазон периодов



3. Рисуем найденное значение в виде палочки для рассматриваемого направления

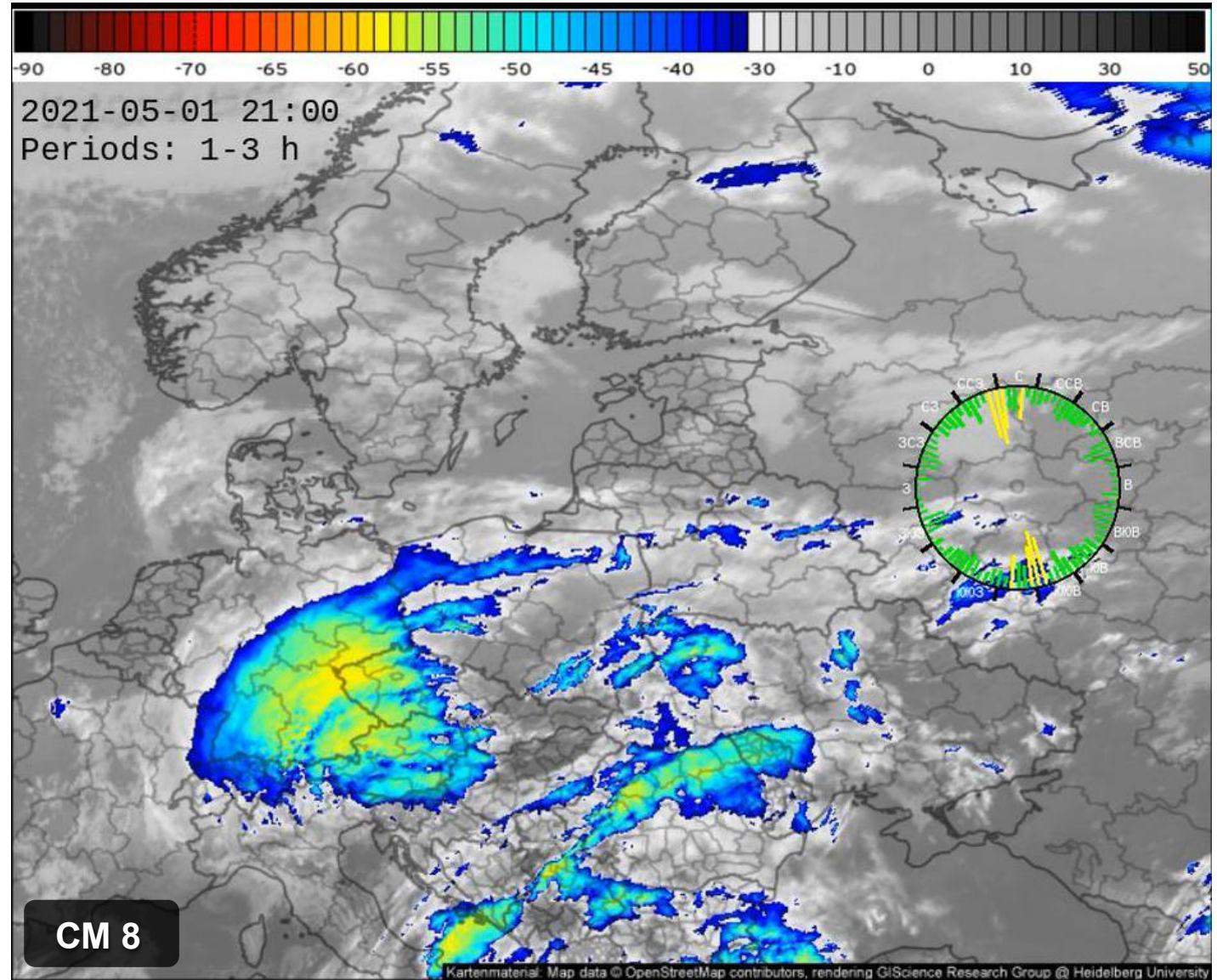


- Удобно искать волны с разных направлений
- Цвет палочки зависит от её длины: **З-Ж-К**

Наступление теплого фронта 2021-05-01



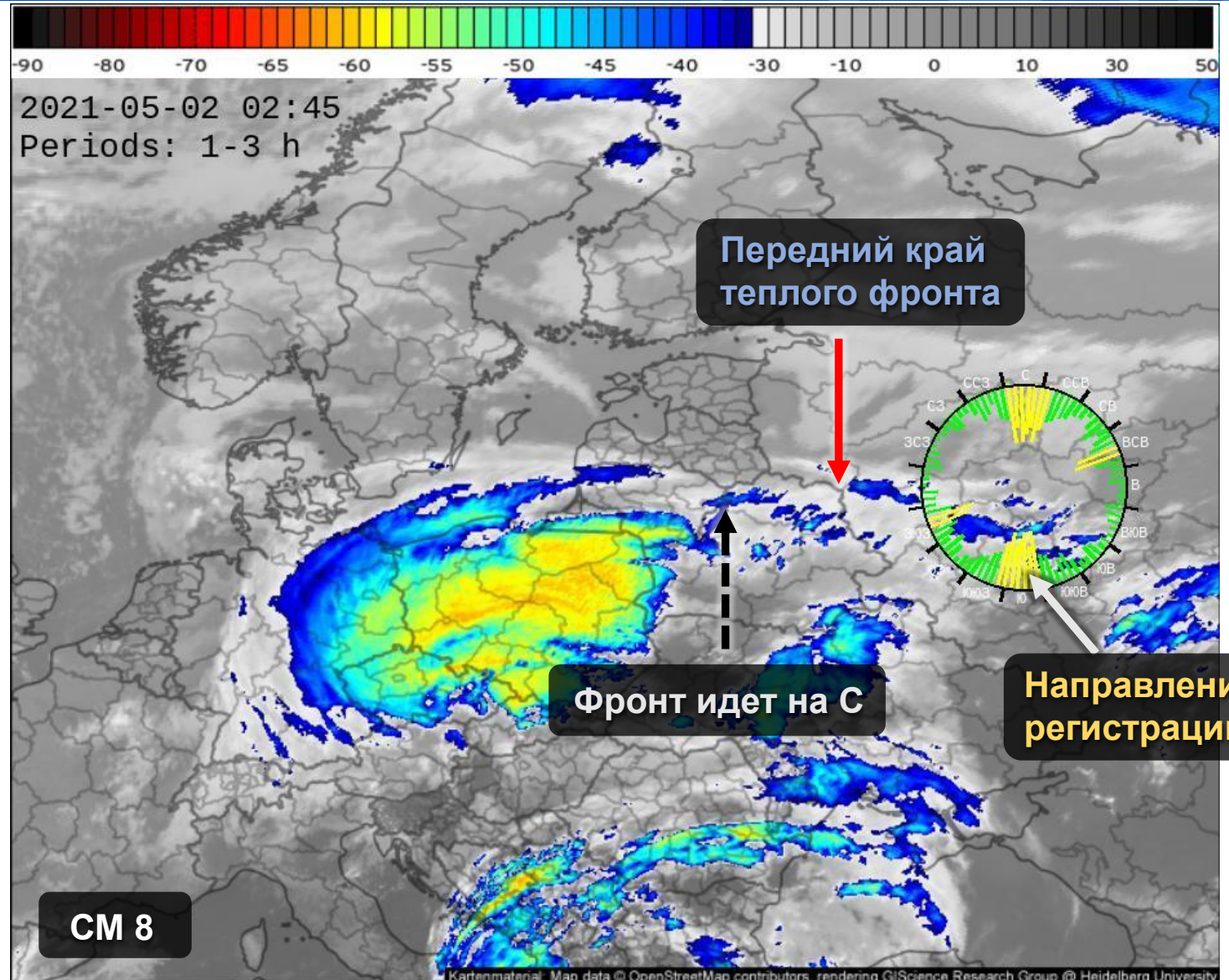
Теплый фронт движется на
Москву с юга



Наступление теплого фронта 2021-05-01



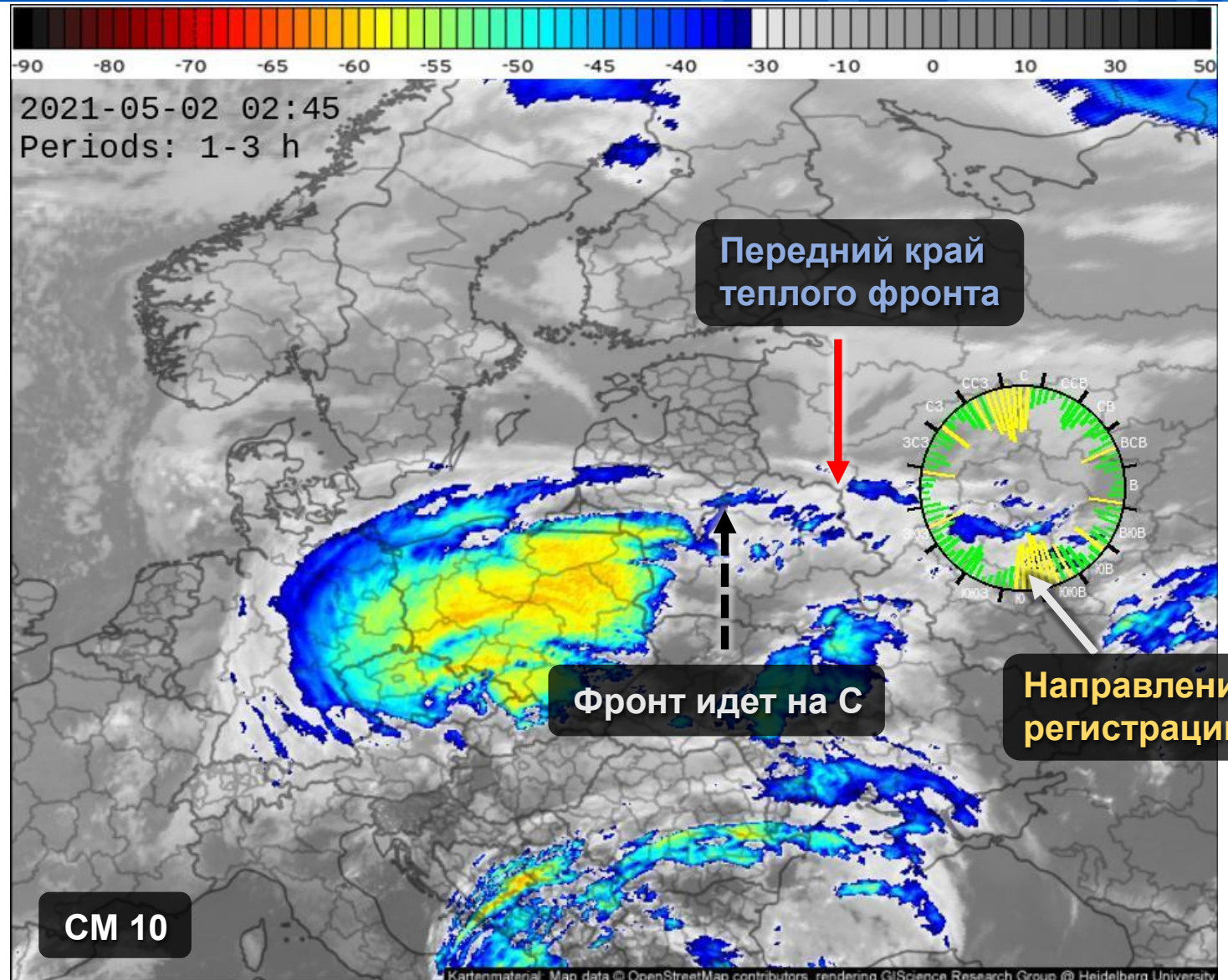
Теплый фронт движется на Москву с юга



Наступление теплого фронта 2021-05-01



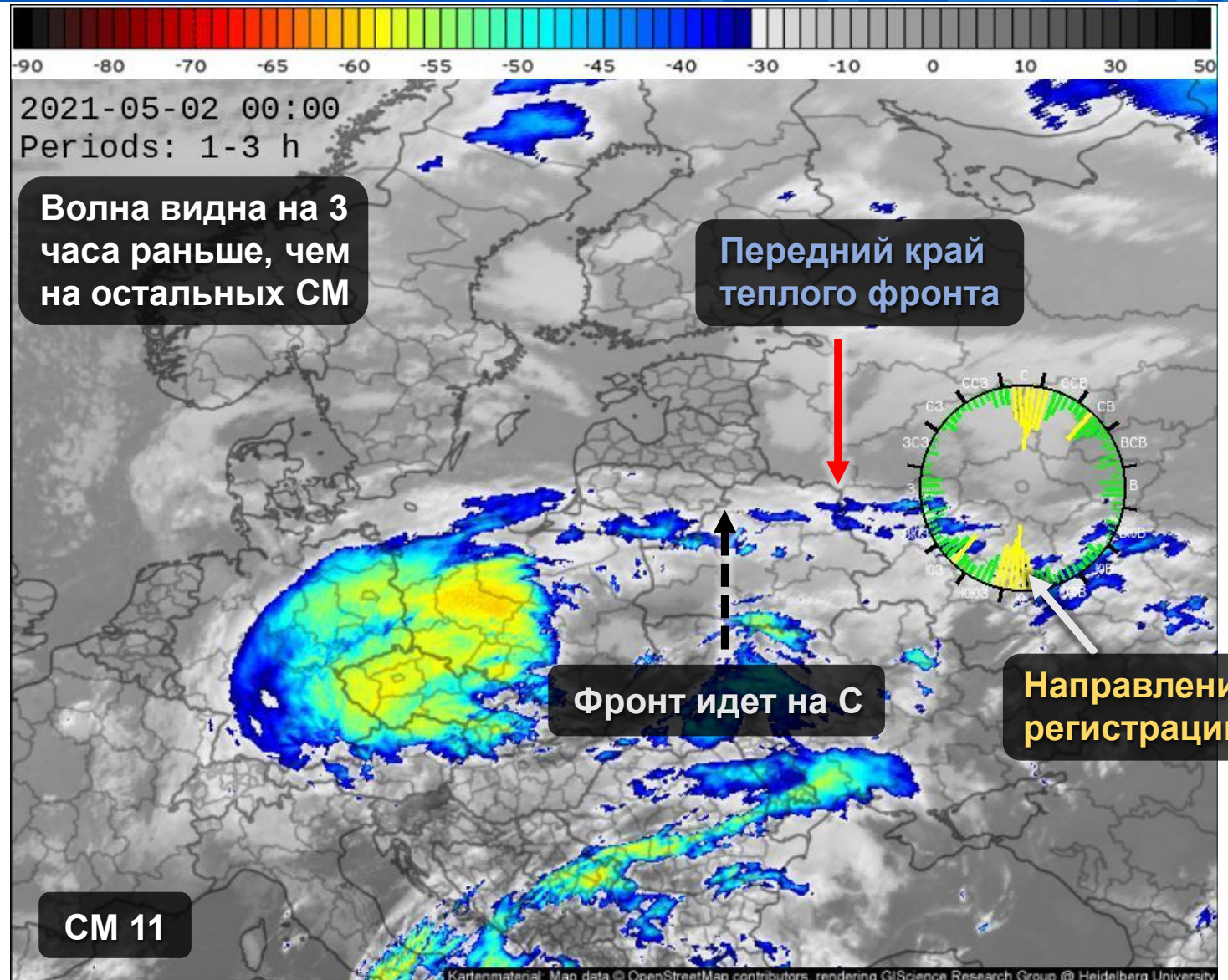
Теплый фронт движется на Москву с юга



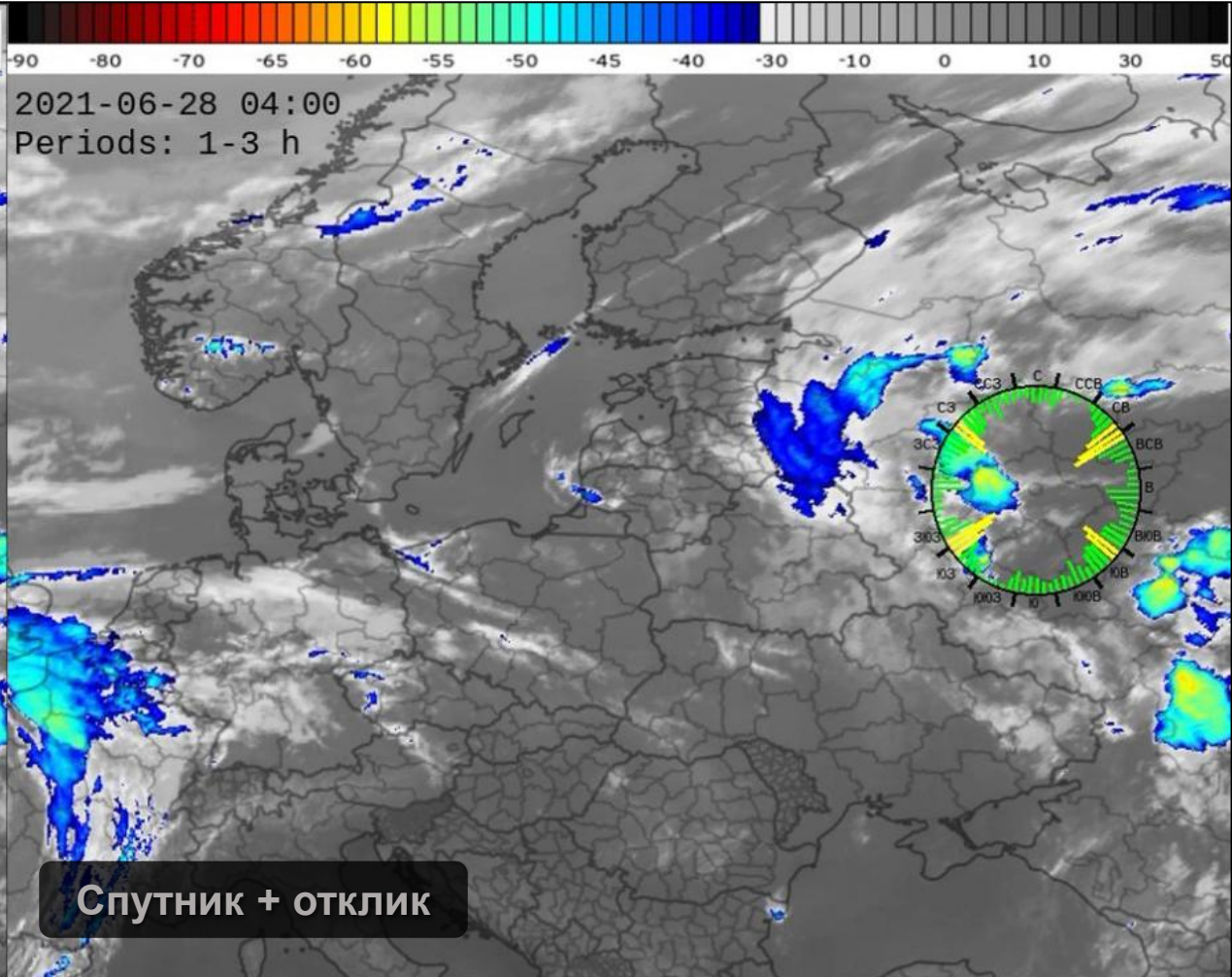
Наступление теплого фронта 2021-05-01



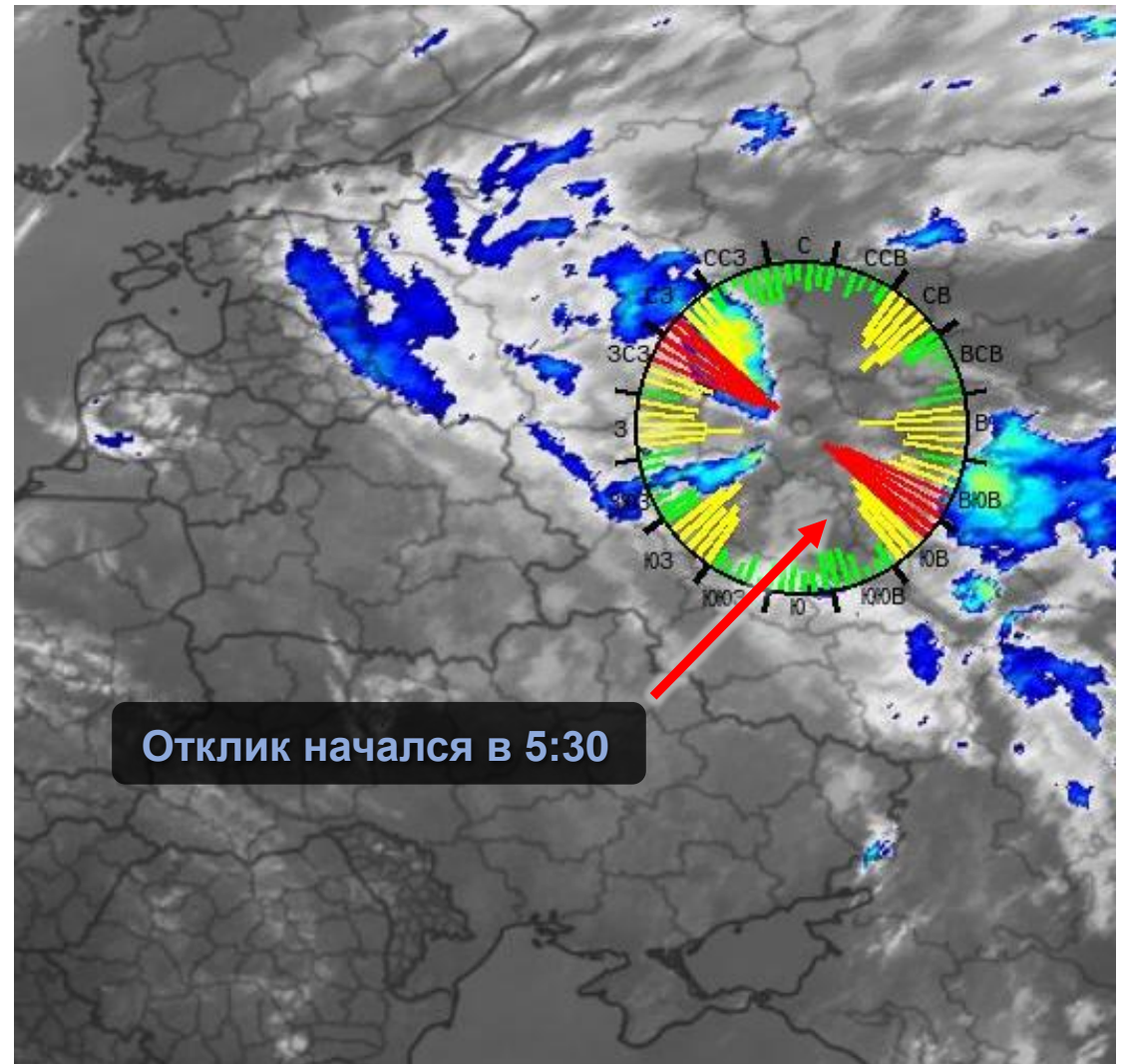
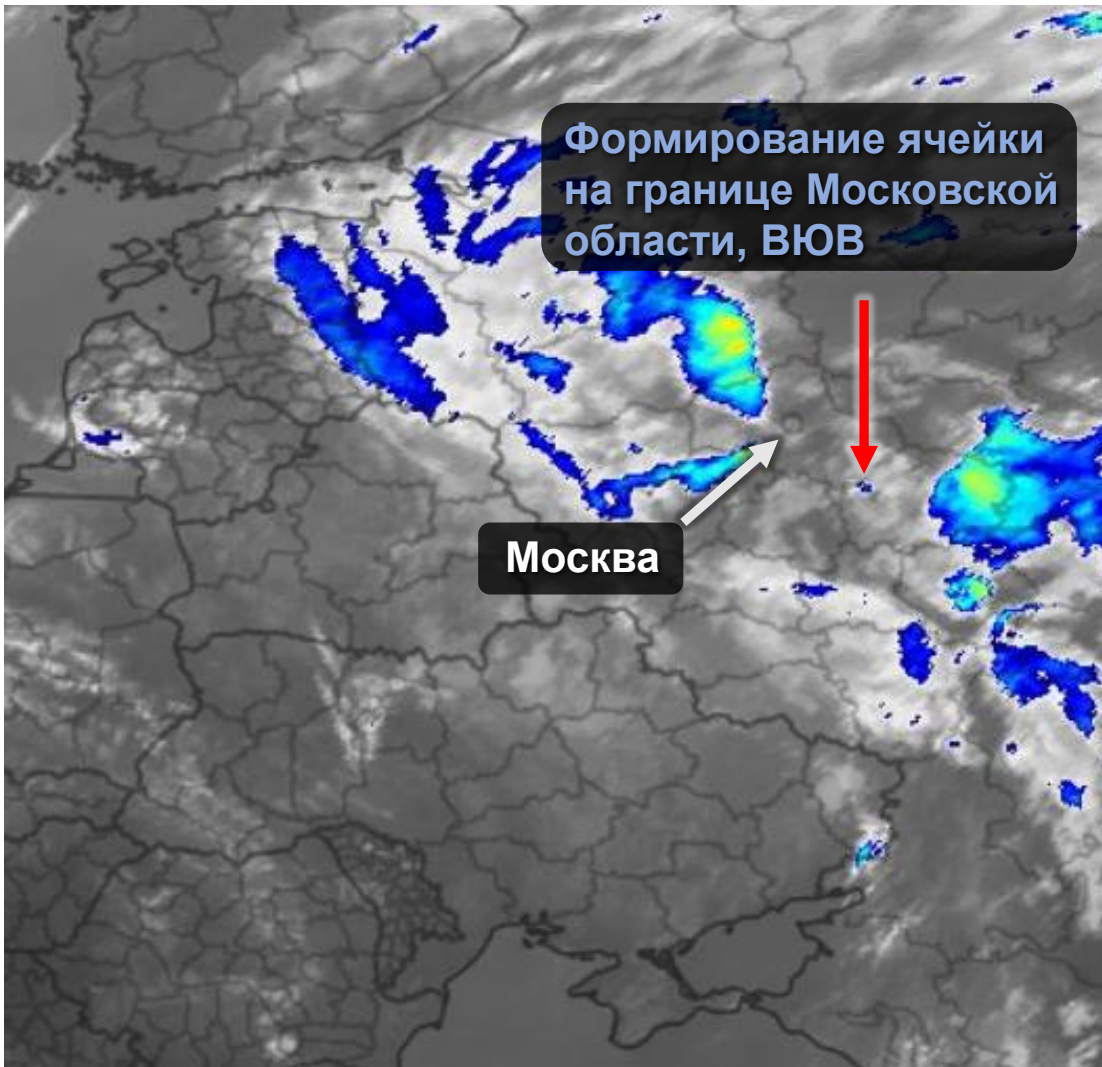
Теплый фронт движется на Москву с юга



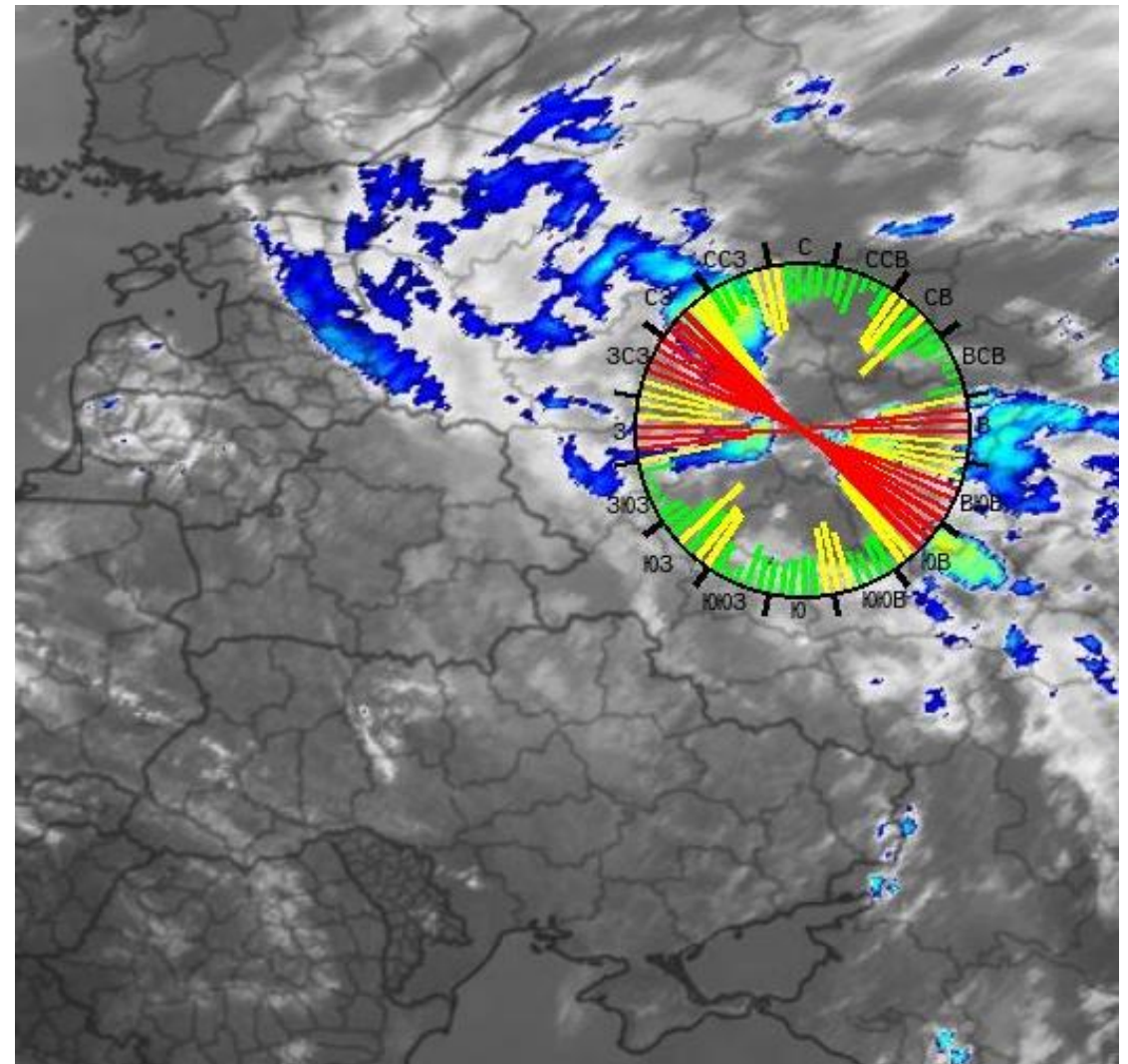
Гроза 2021-06-28



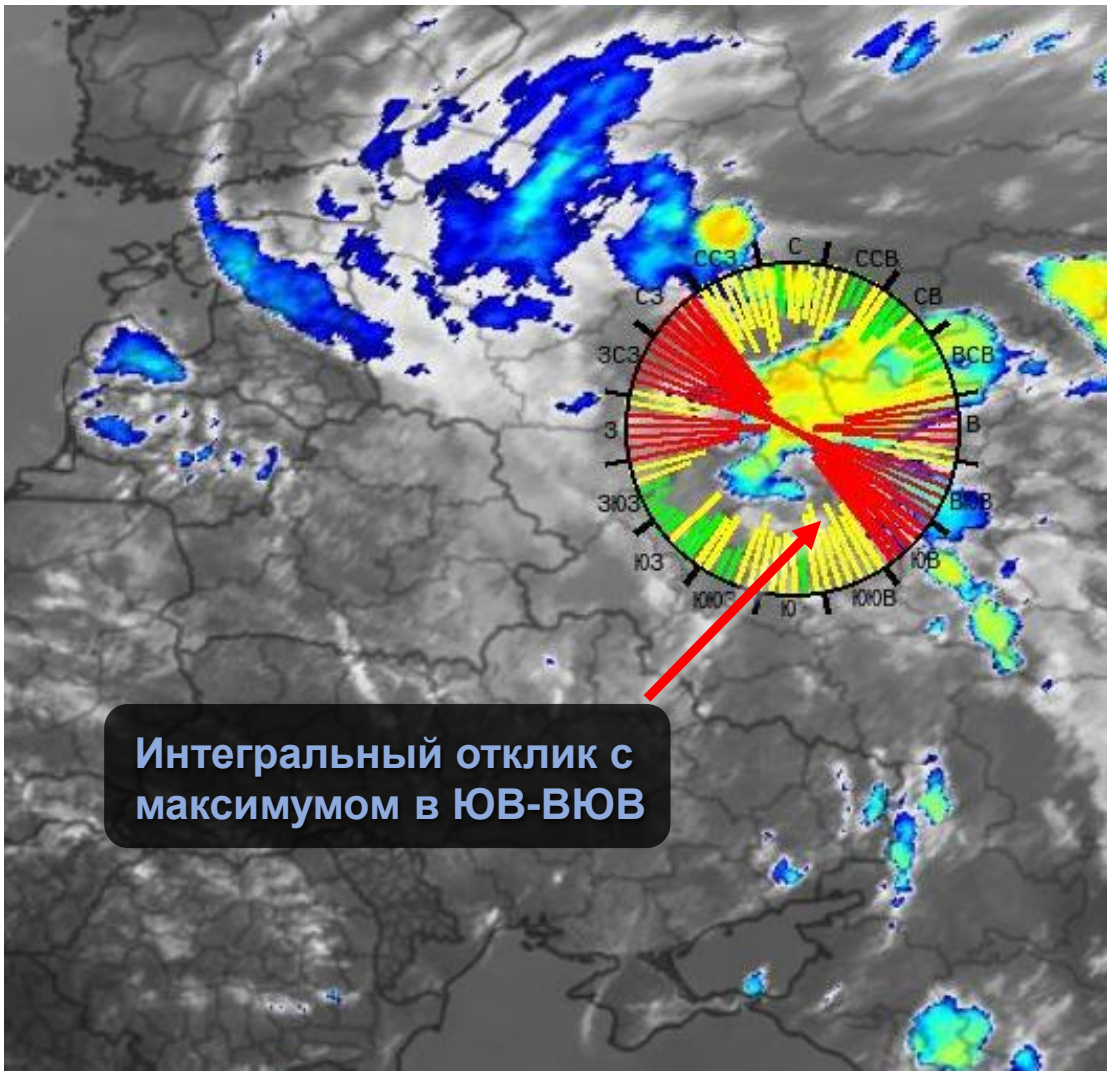
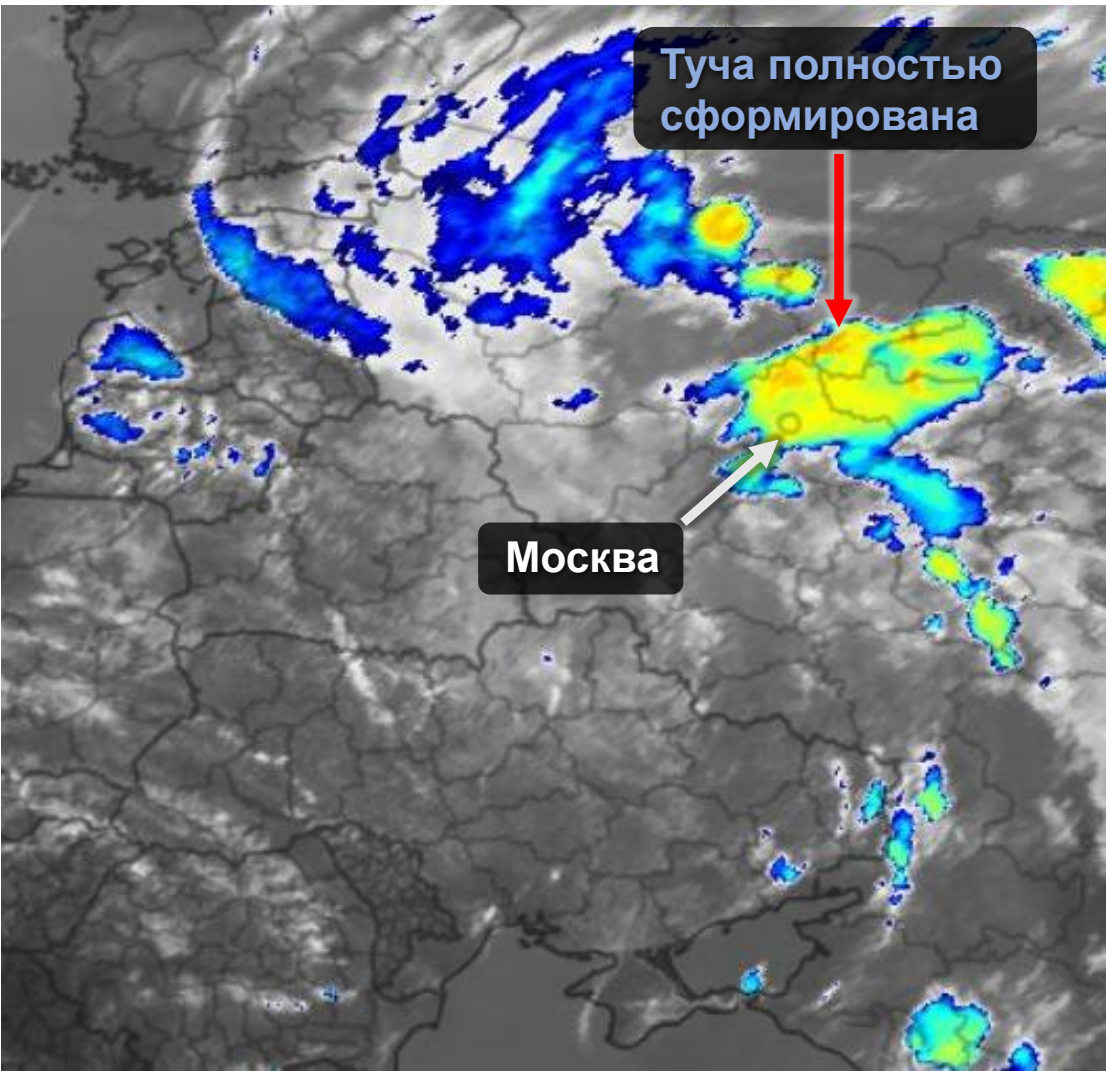
Гроза 2021-06-28, 7:30



Гроза 2021-06-28, 8:45



Гроза 2021-06-28, 11:00



Заключение

На сегодняшний день можно сделать следующие выводы:

- Атмосферные фронты, равно как и большинство мощных локальных конвективных потоков, **сопровождаются волной** в слое генерации мюонов
- Наблюдаемые волны длятся **не дольше 2-3 периодов**
- Аккуратное моделирование потока мюонов от слоя генерации поможет понять пределы характеристик наблюдаемых волн

37 Всероссийская конференция по космическим лучам, 2022

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Научно-образовательный центр «НЕВОД»

Спасибо за внимание!

Новый подход к мюонографии атмосферы

Тимаков С. С., Петрухин А. А.

sstimakov@mephi.ru

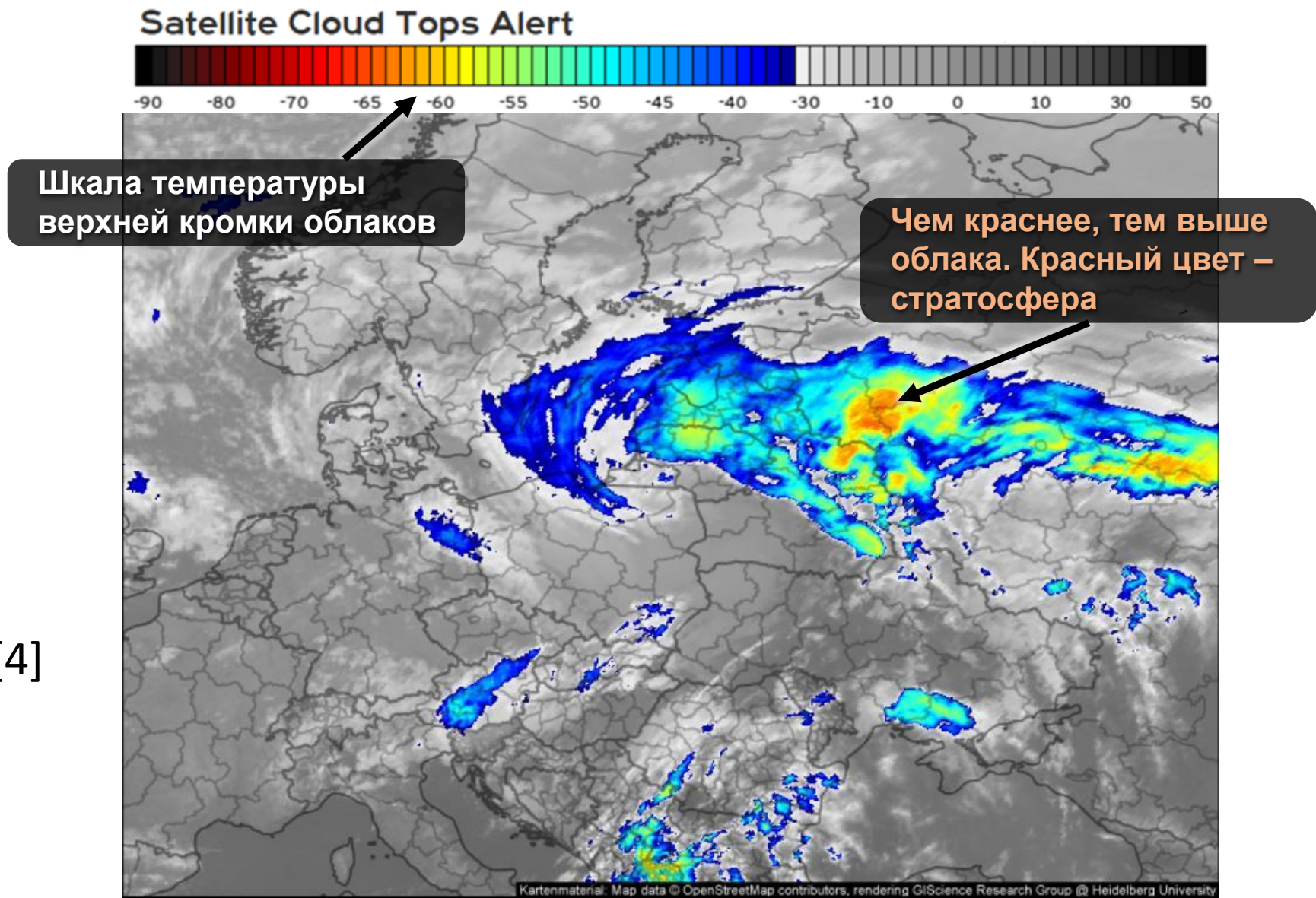
Москва, 27.06.2022



Источники

1. <http://www2.sat24.com/history.aspx?culture=en>
2. https://www1.wetter3.de/archiv_dwd_en.html
3. <http://nevod.mephi.ru/English/wavurg1.htm>
4. <https://weather.us/satellite/russia-west/top-alert-15min/20210209-1200z.html>

Cloud Tops Alert



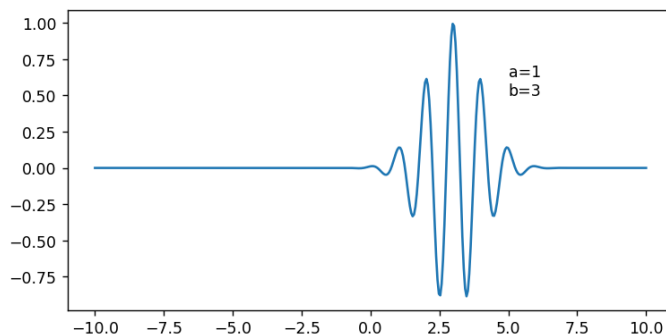
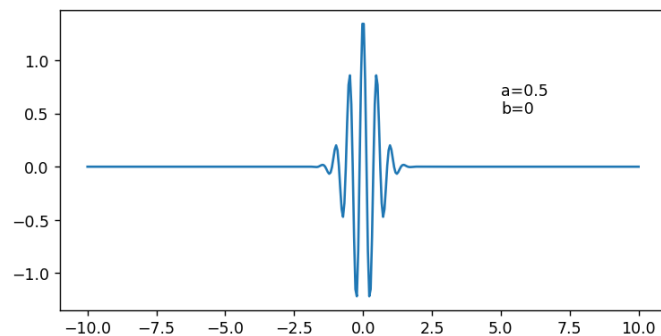
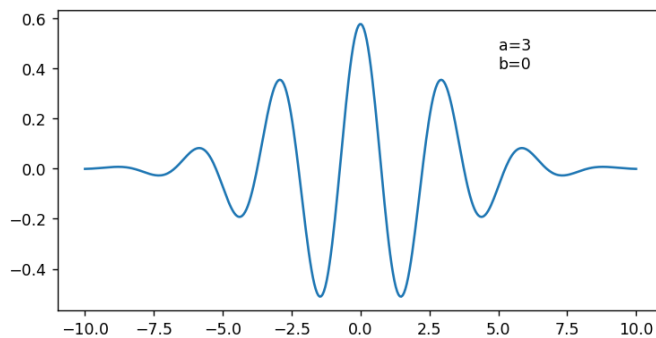
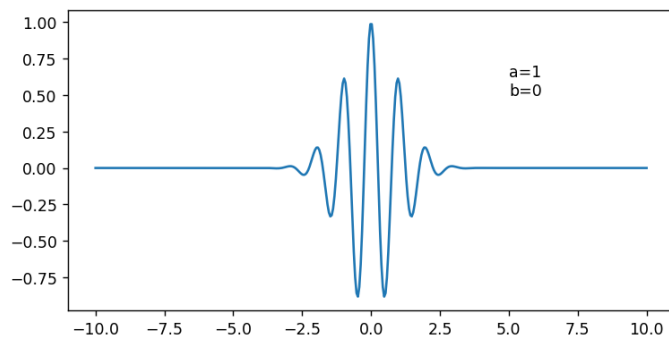
Источник: [4]

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:

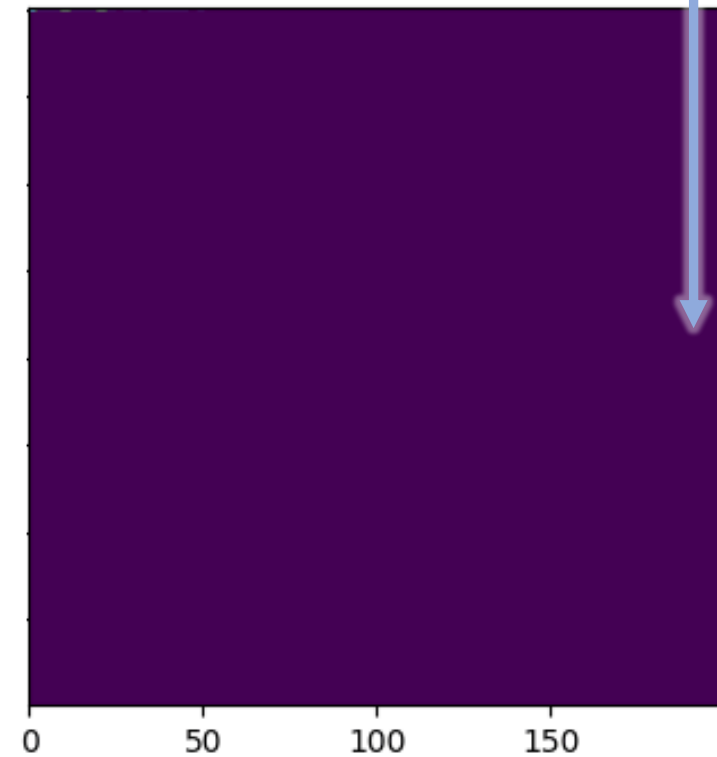
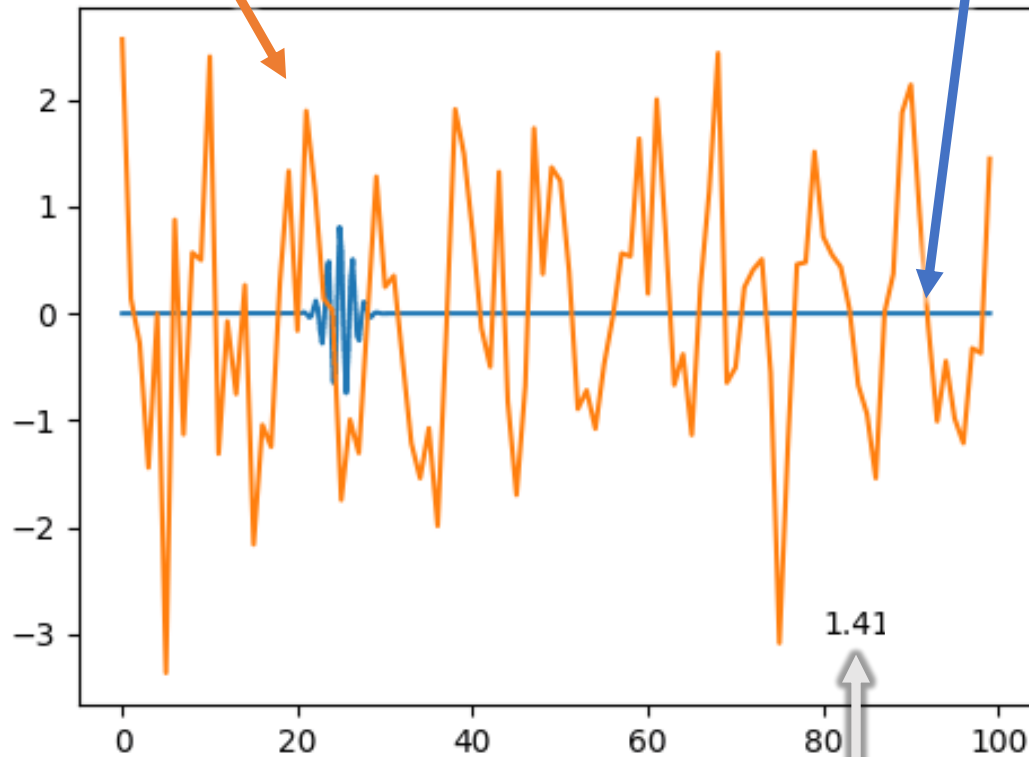
- $a=3, b=0$
- $a=1, b=0$
- $a=0.5, b=0$
- $a=1, b=3$

Вейвлет-анализ в действии

Моделированная зашумленная синусоида с периодом 10

Сканирующий вейвлет

Найденный период: 10



Период вейвлета

Параметры, используемые в работе

- $\Delta\phi = 20^\circ$ (5 ячеек матрицы)