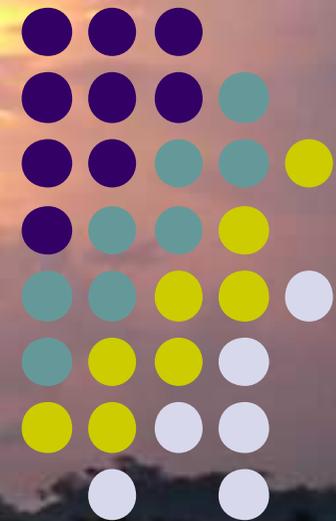


Исследование атмосферных процессов методами мюонной диагностики



Н.С.Барбашина, В.В.Борог, Р.П.Кокоулин,
К.Г.Компаниец, А.А.Петрухин, Д.А.Роом, Д.А.Тимашков,
В.В.Шутенко, И.И.Яшин

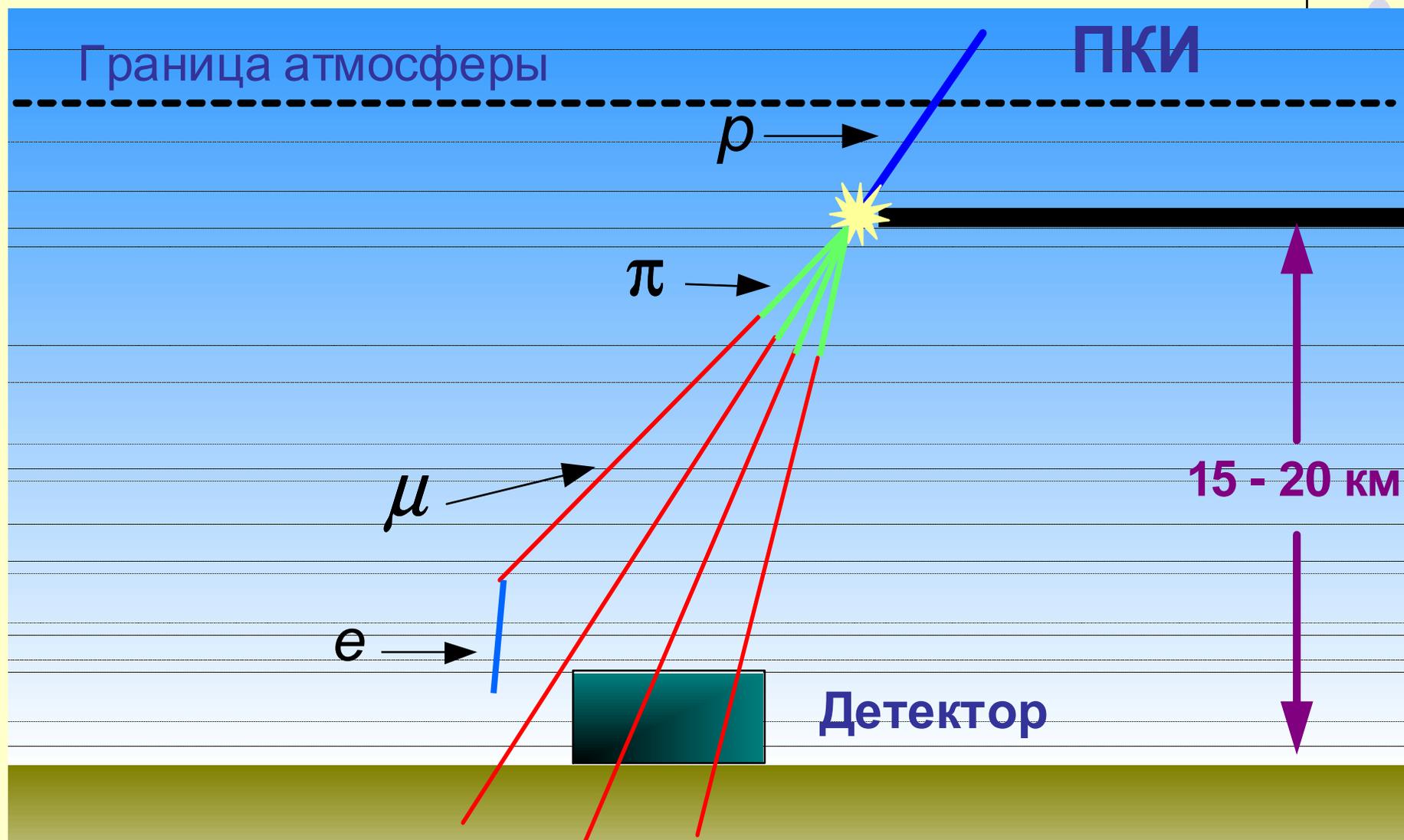
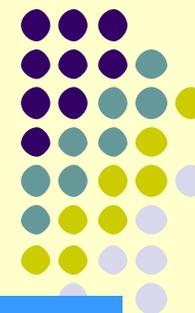


Атмосфера Земли – это открытая система, основные процессы в которой регулируются деятельностью Солнца. Кроме того, атмосфера подвергается облучению заряженных релятивистских частиц – космического лучей (солнечного, галактического и внегалактического происхождения), которые являются основным источником ионизации в атмосфере.

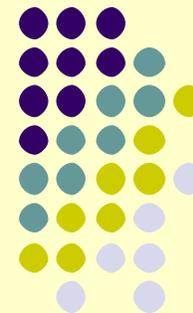


- Космические лучи на поверхности Земли чувствительны к динамическим процессам в гелиосфере, магнитосфере и атмосфере
- Галактические космические лучи являются постоянным источником проникающего излучения, которое, достигая поверхности Земли, несет информацию о состоянии околоземного пространства и атмосферы Земли

Космические лучи в атмосфере



На поверхности Земли поток мюонов (μ)
составляет более 100 частиц на 1 м² в сек



Основы теории влияния атмосферных условий на интенсивность и вариации космических лучей были созданы во второй половине XX века Л.И.Дорманом

Зависимость от p и T

$$\Delta N / N = \beta_p \Delta p + \beta_T \Delta T$$

$$\beta_p \approx -0,2 \text{ \%/мбар}$$

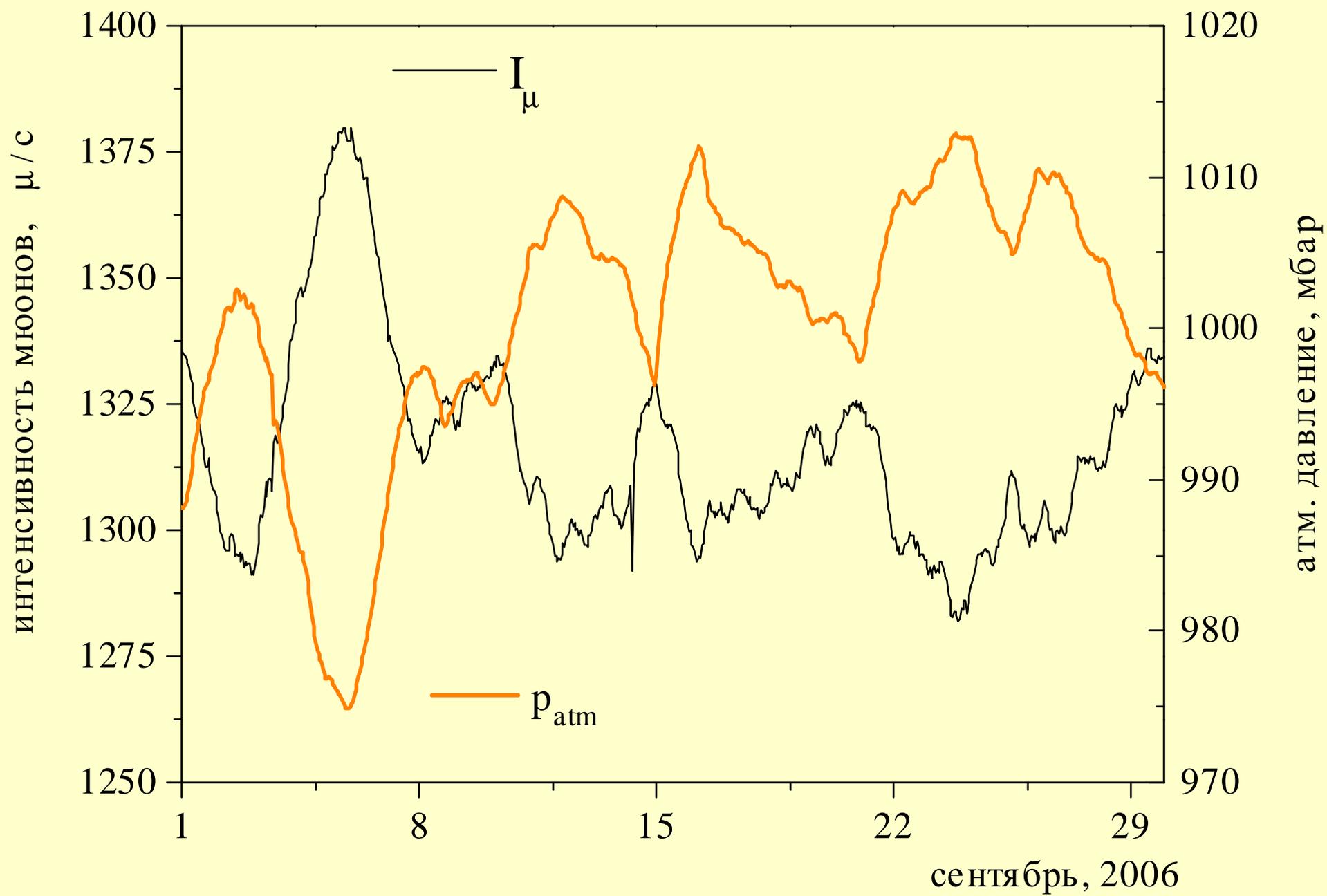
● **Чем выше p , тем:**

- больше вещества на пути мюонов;
- сильнее поглощение.

$$\beta_T \approx -0,2 \text{ \%/град}$$

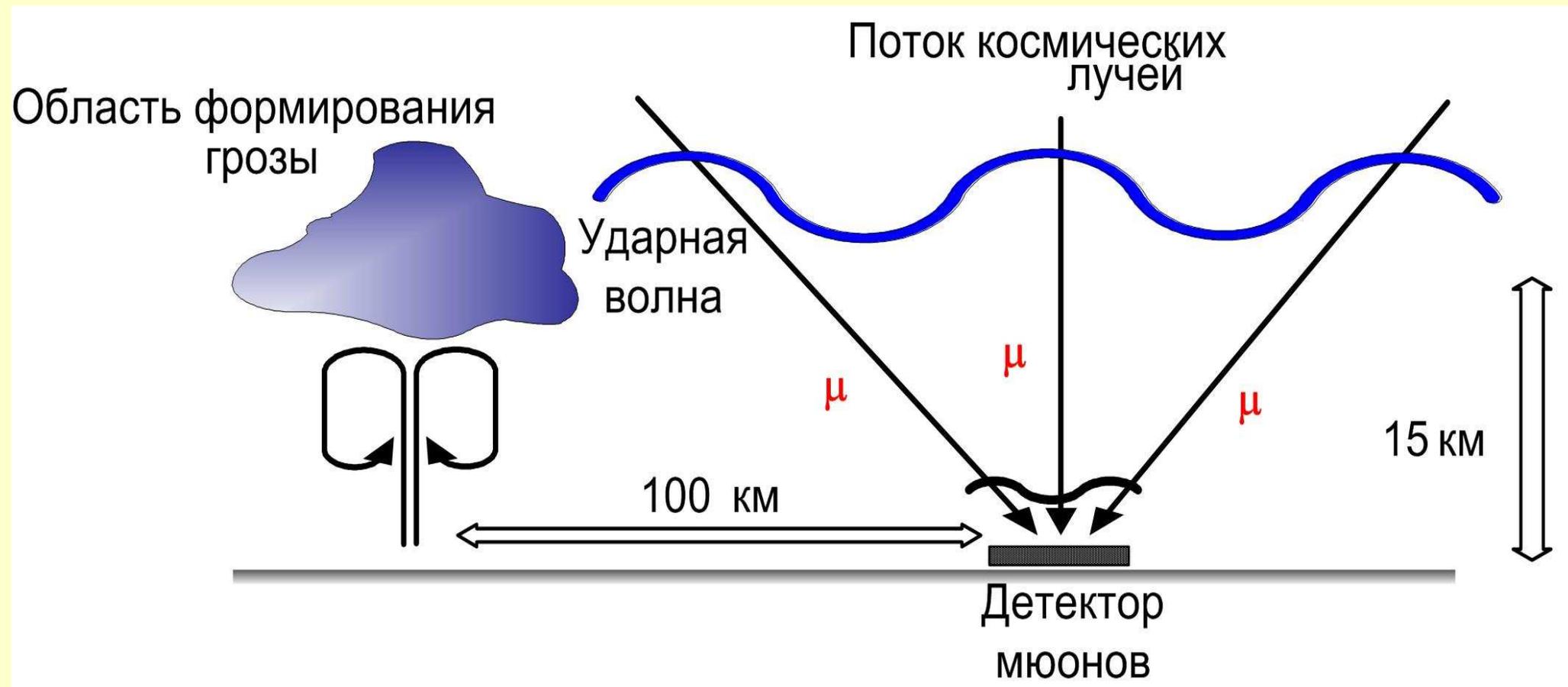
● **Чем выше T , тем:**

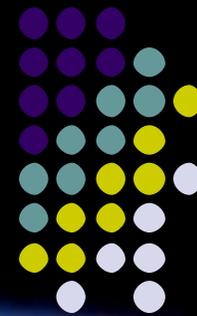
- выше точка первого взаимодействия;
- длиннее путь мюонов в атмосфере;
- больше вероятность распада.





Модуляция потока мюонов динамическими процессами в атмосфере





Мюонная диагностика –

это решение обратной задачи:

восстановление характеристик атмосферы,
активных модулирующих процессов земного и
внеземного происхождения по измерениям
пространственно-временным вариаций
интенсивности потока мюонов космических
лучей на поверхности Земли



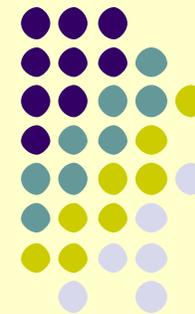
Требования к детекторам

Для практической реализации мюонной диагностики необходим новый тип детекторов для регистрации мюонов космических лучей:

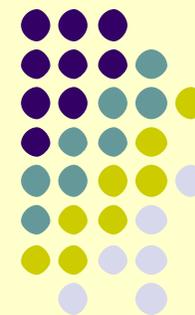
МЮОННЫЕ ГОДОСКОПЫ

- многомерный съём информации
- большая площадь детектора ($> 10 \text{ м}^2$)
- высокая угловая точность ($< 1^\circ$)
- возможность одновременной регистрации с большого количества направлений

Мюонные детекторы ЭК НЕВОД



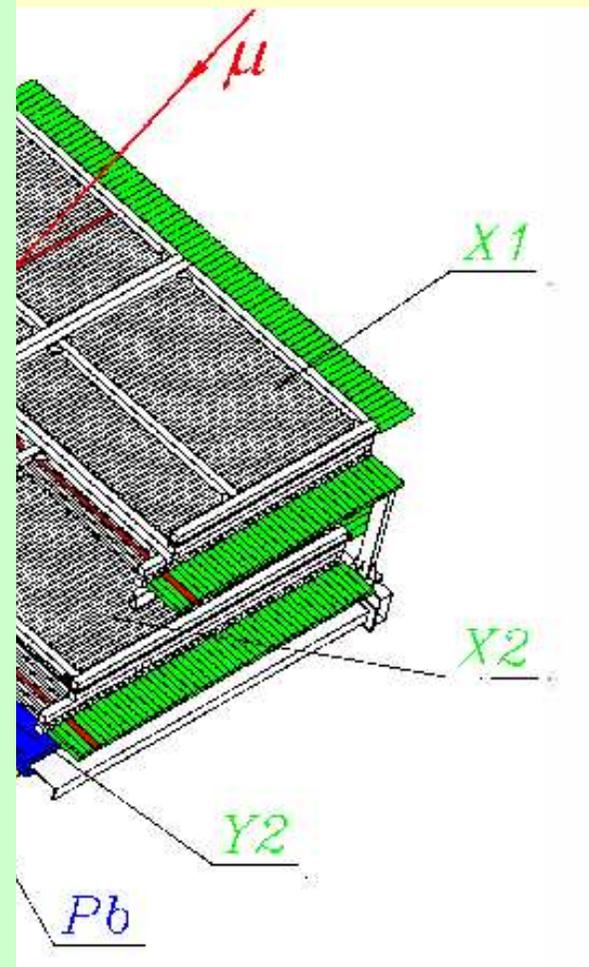
- Мюонный годоскоп ТЕМП
запуск в 1995 г.
- Координатный детектор ДЕКОР
работа в полной конфигурации в 2002-2004 гг.
- Мюонный годоскоп УРАГАН
запущен в марте 2005



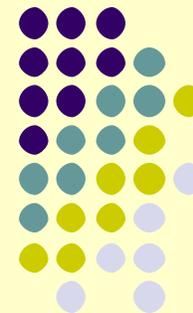
Мюонный годоскоп ТЕМП

1998 – 2004

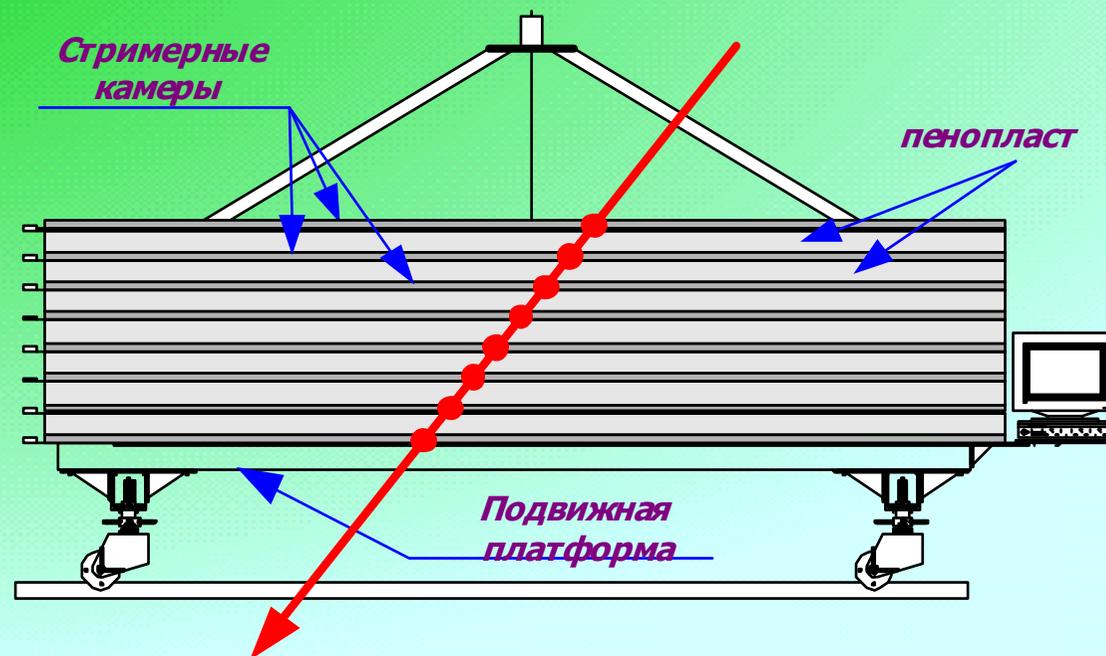
- Проведение первых длительных измерений вариаций потока мюонов в годоскопическом режиме
- Обнаружение значительных корреляций между активными процессами в атмосфере и околоземном пространстве и характеристиками пространственно-временных колебаний потока мюонов
- Принципиальная возможность предсказания подобных явлений



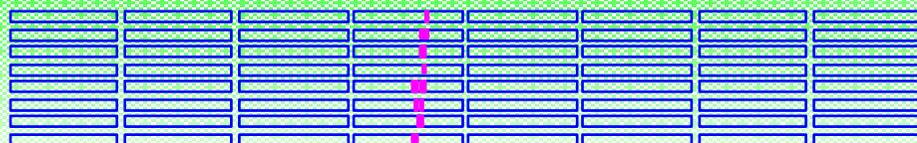
Угловая точность 2°, площадь ~ 9 м²



Мюонный годоскоп УРАГАН

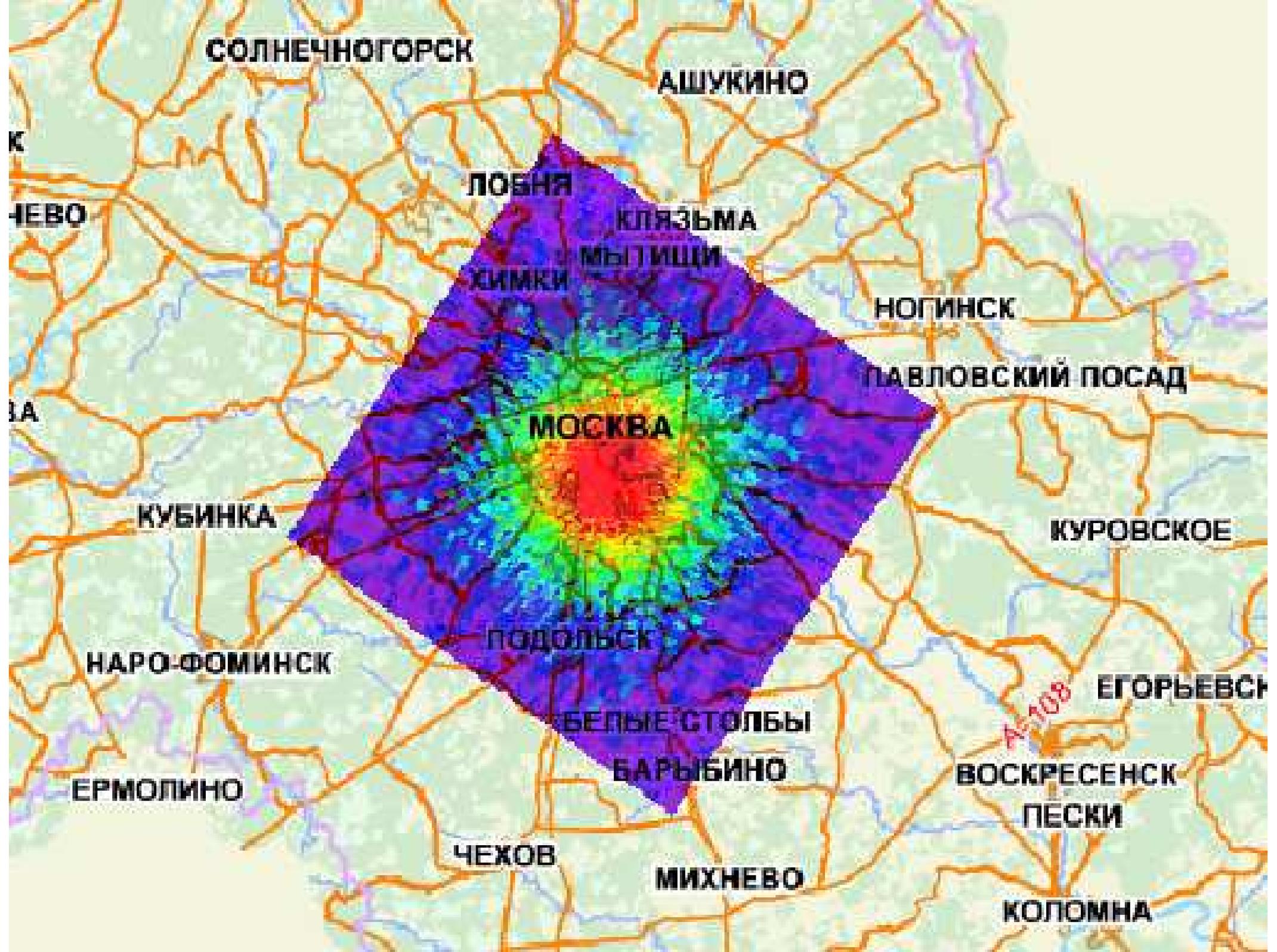


Проекция Y



Проекция X



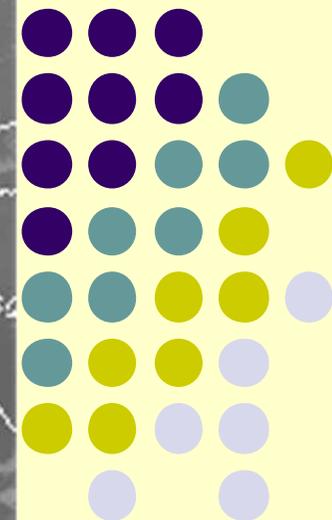
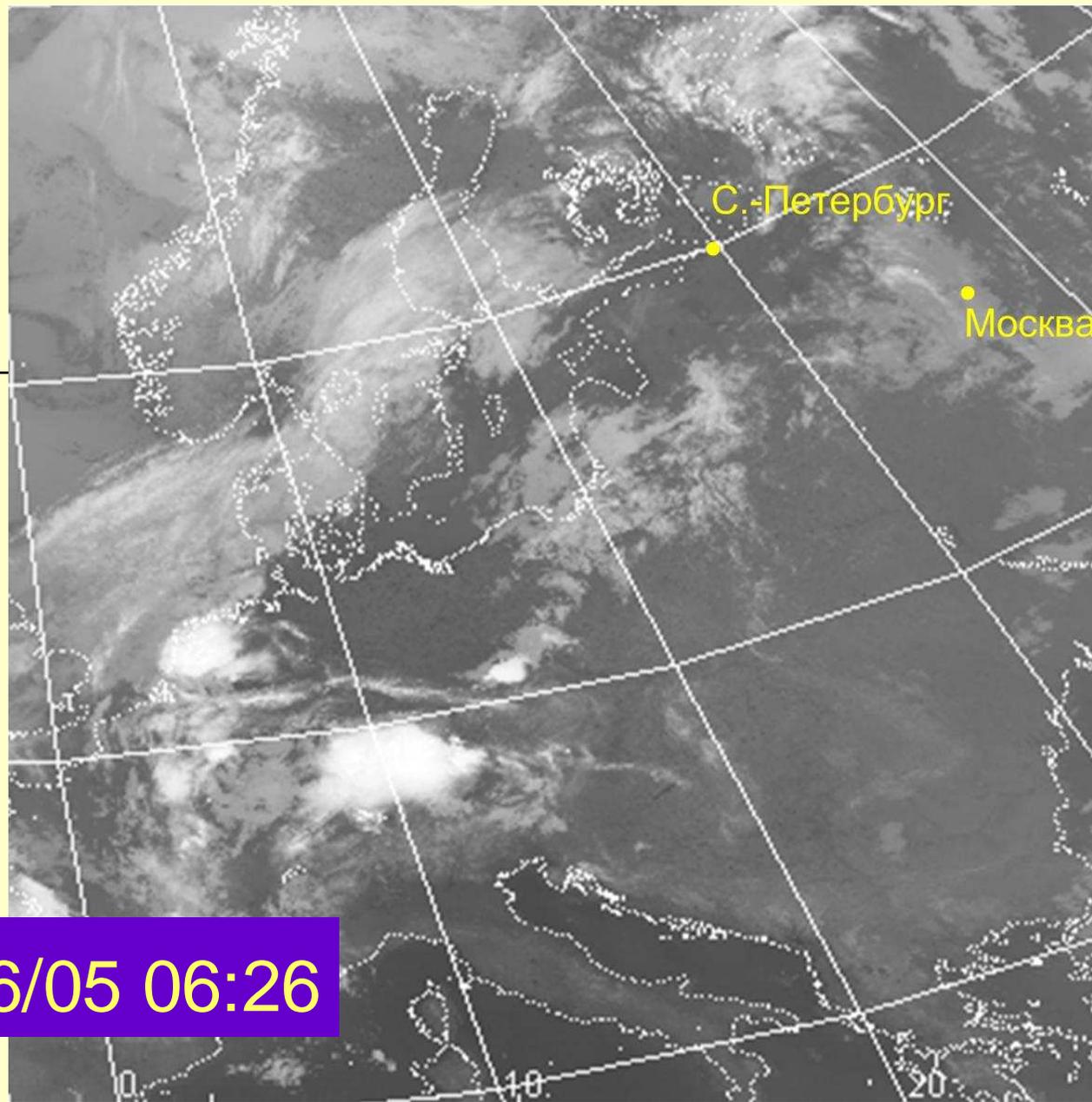




Первый супермодуль: март – июнь 2005 года

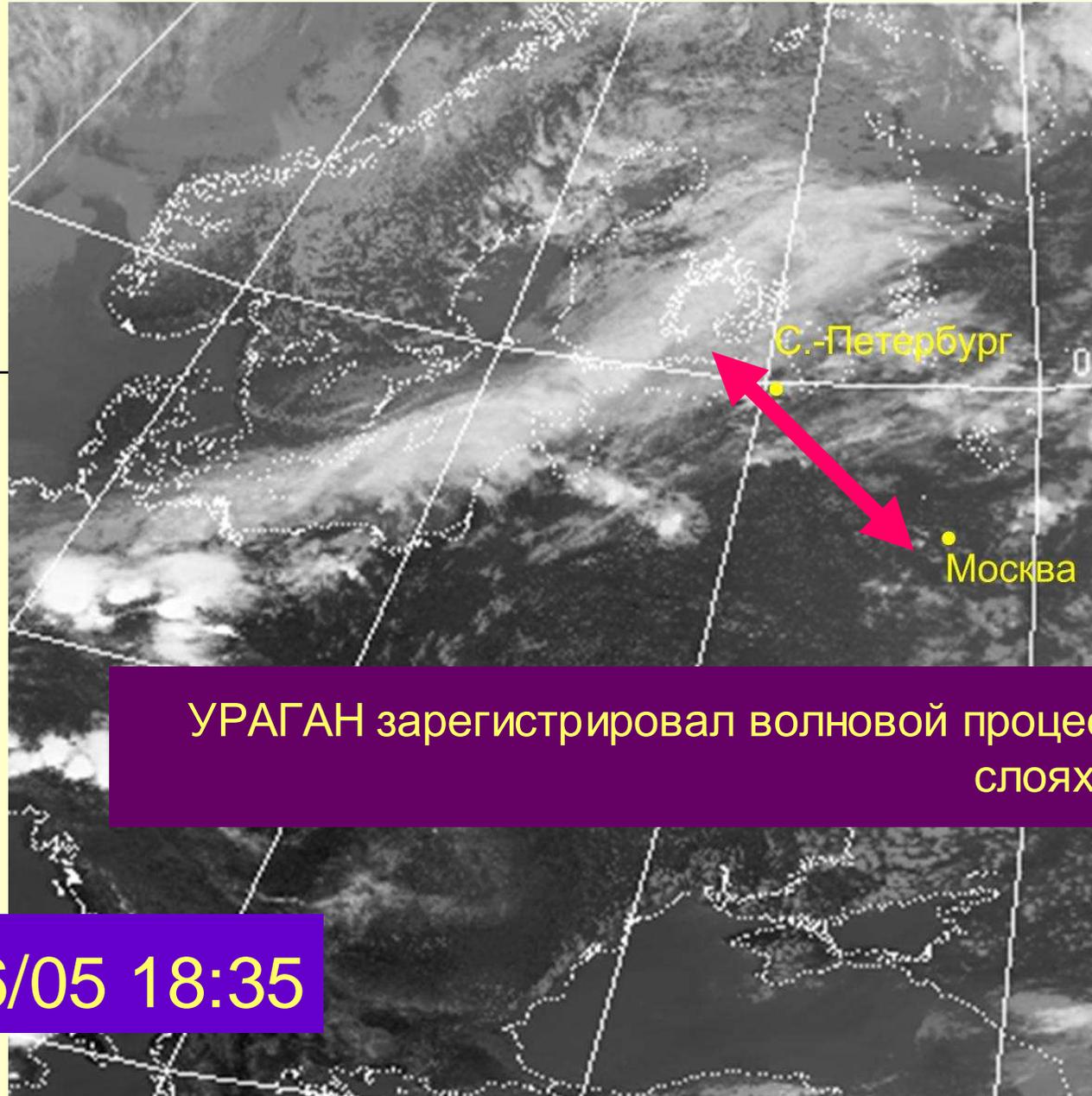
Два супермодуля: апрель 2006 г. – по настоящее время

Начало формирования атмосферного фронта над Северной Европой



25/06/05 06:26

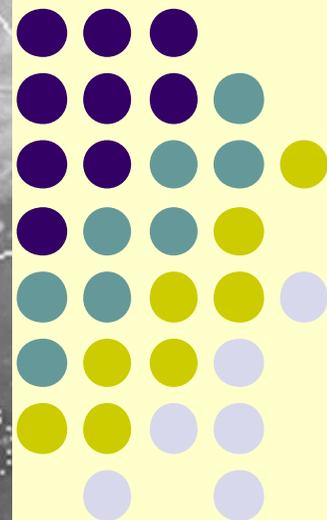
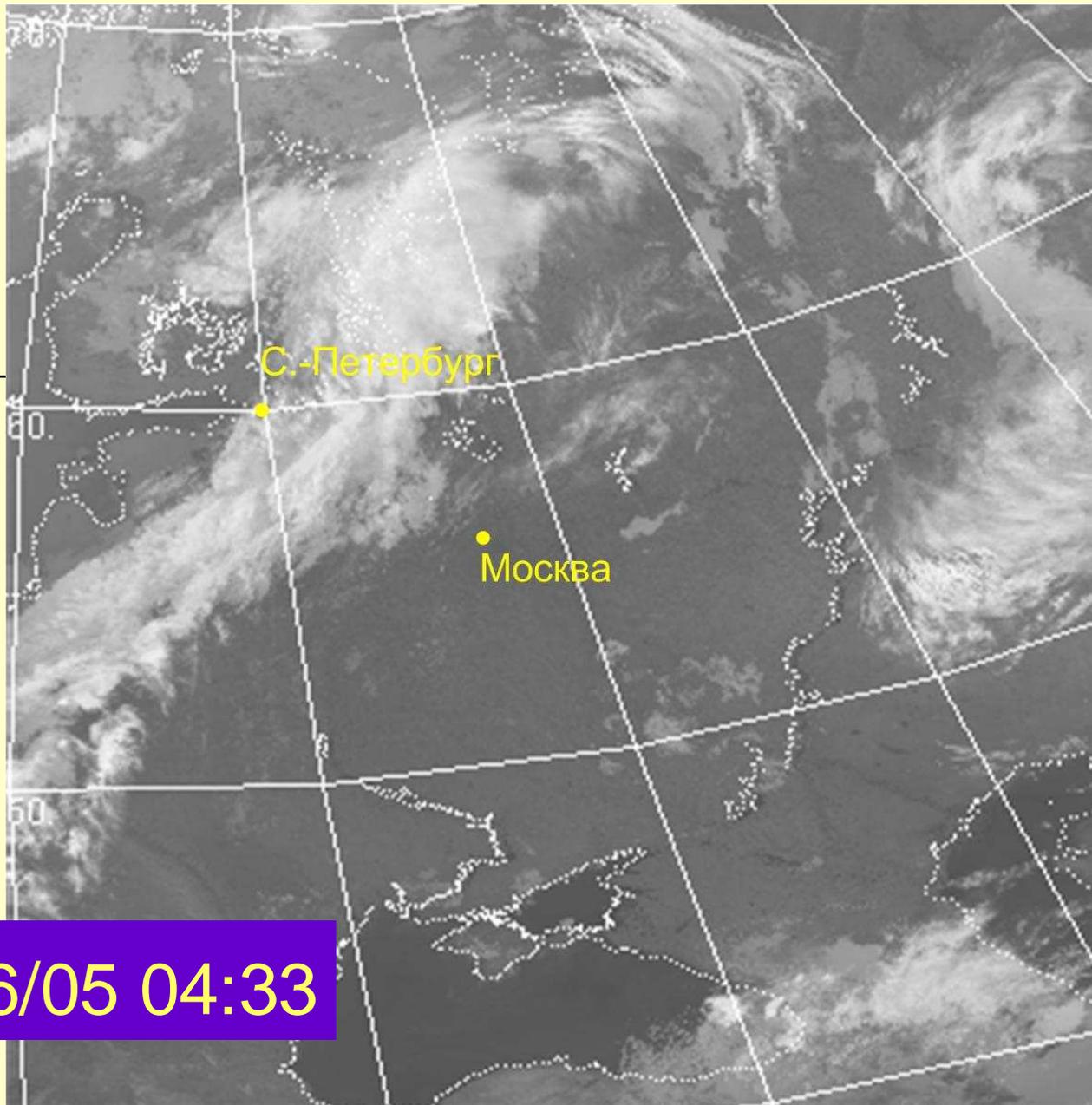
Через 12 часов атмосферный фронт достиг северо-запада России



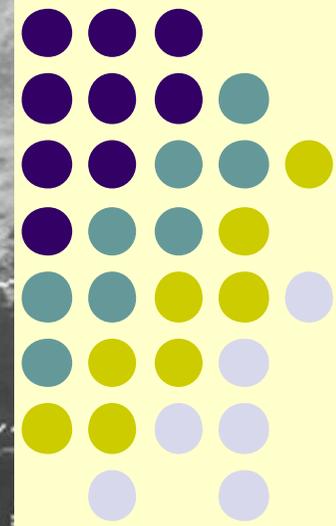
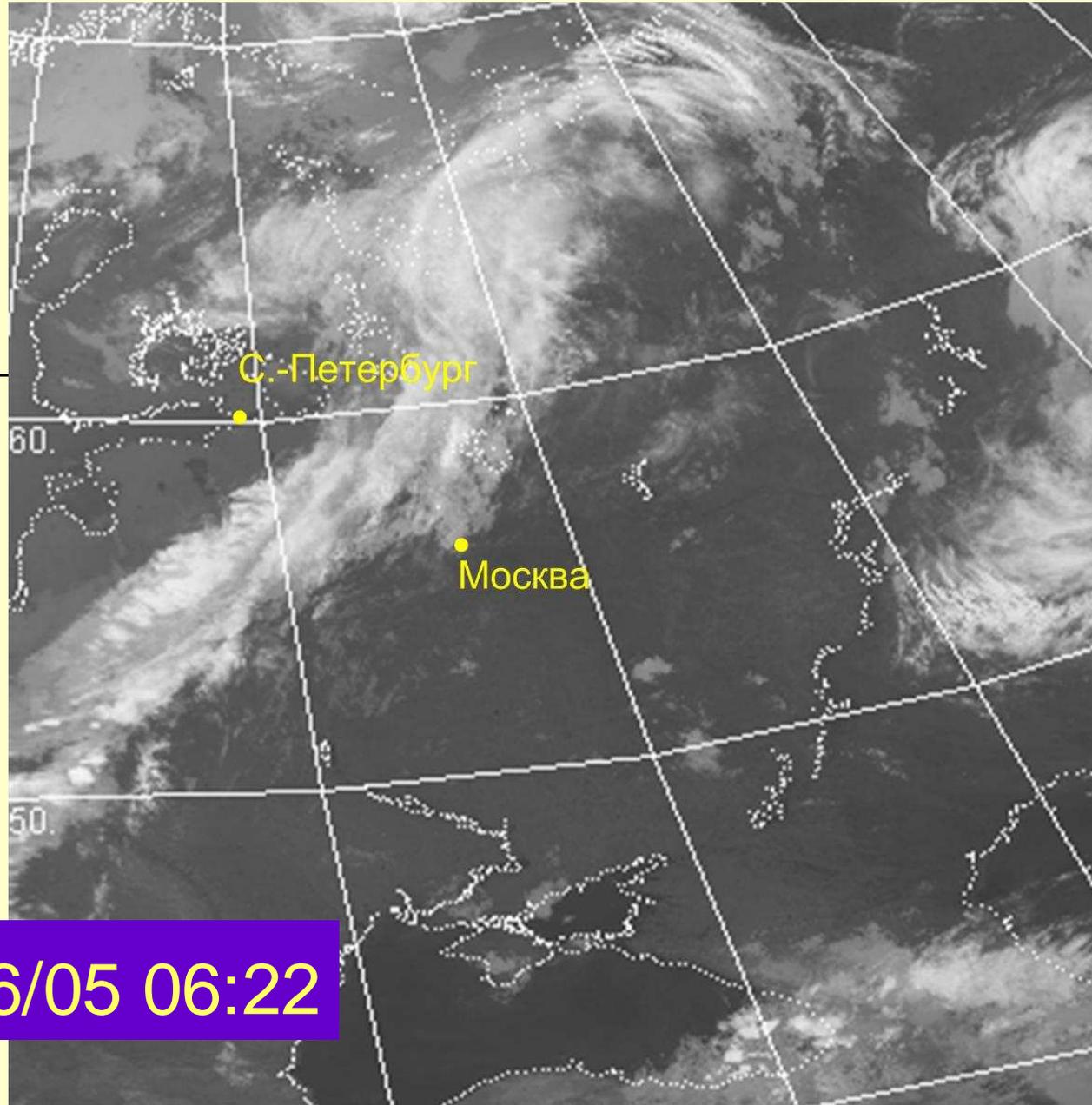
УРАГАН зарегистрировал волновой процесс в верхних слоях атмосферы

25/06/05 18:35



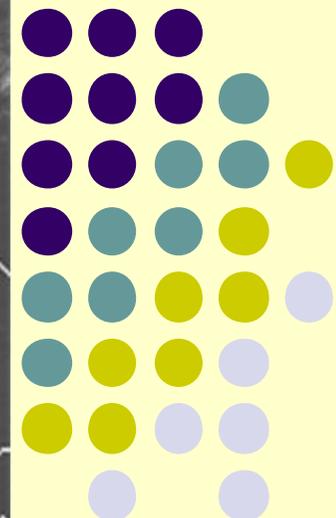
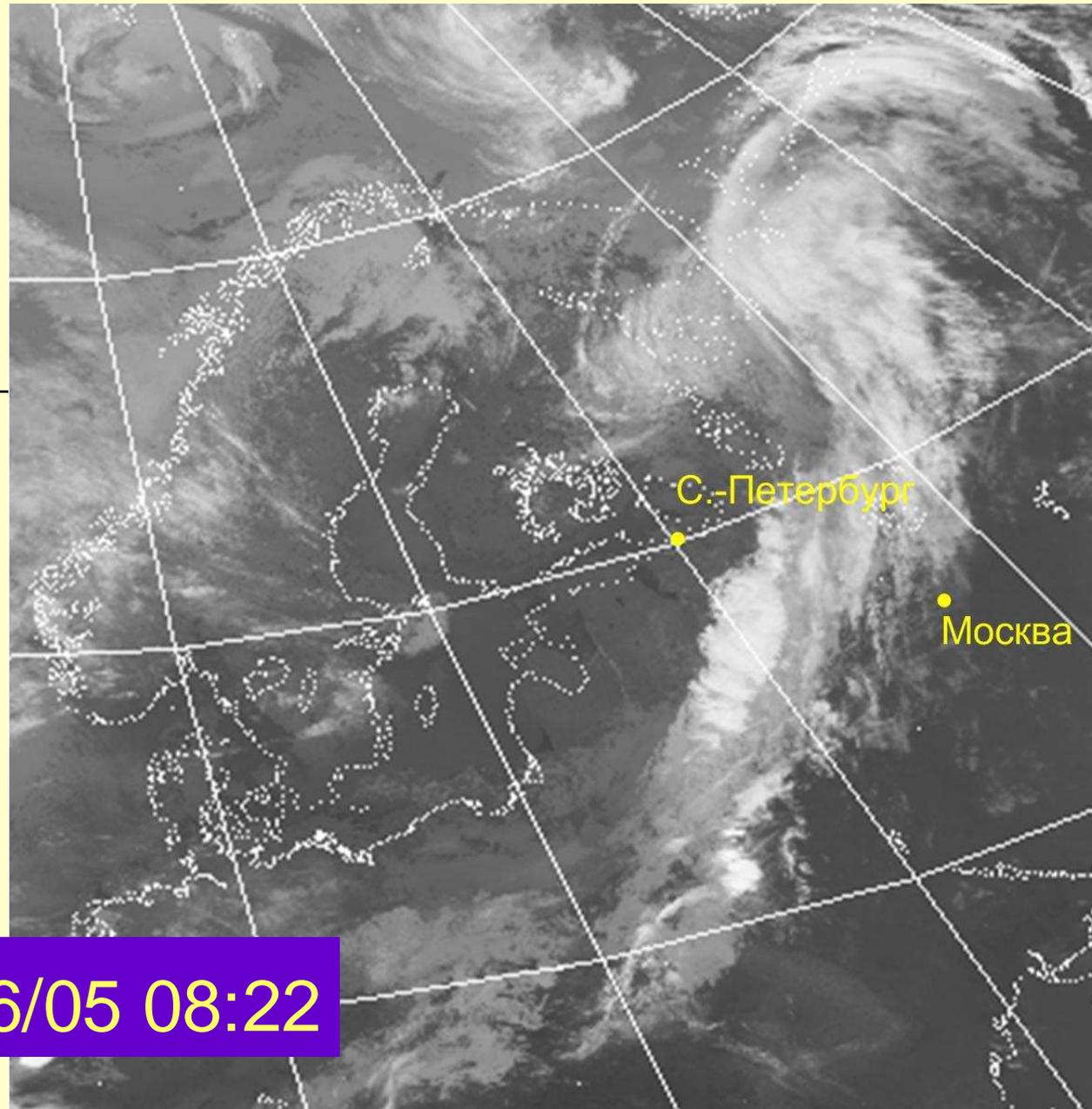


26/06/05 04:33



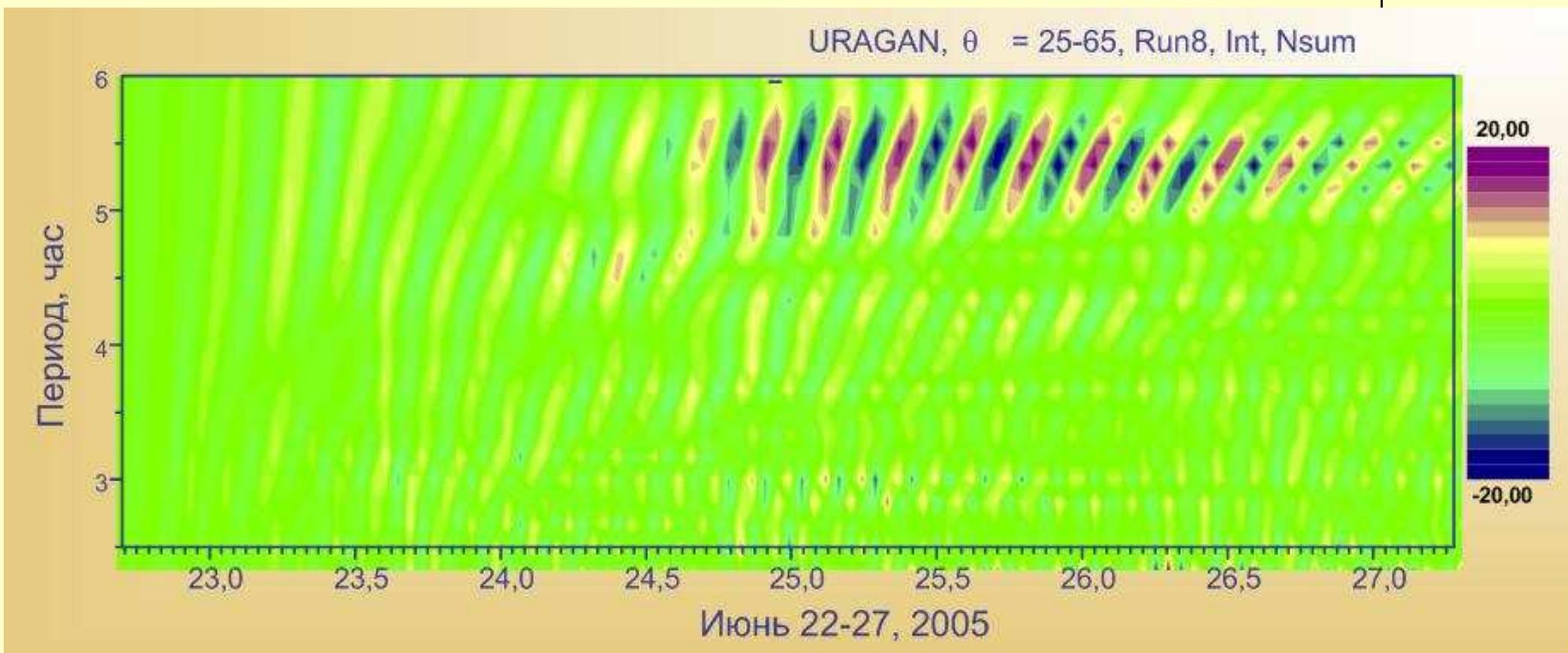
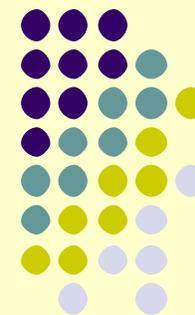
26/06/05 06:22

Атмосферный фронт достиг Московской области

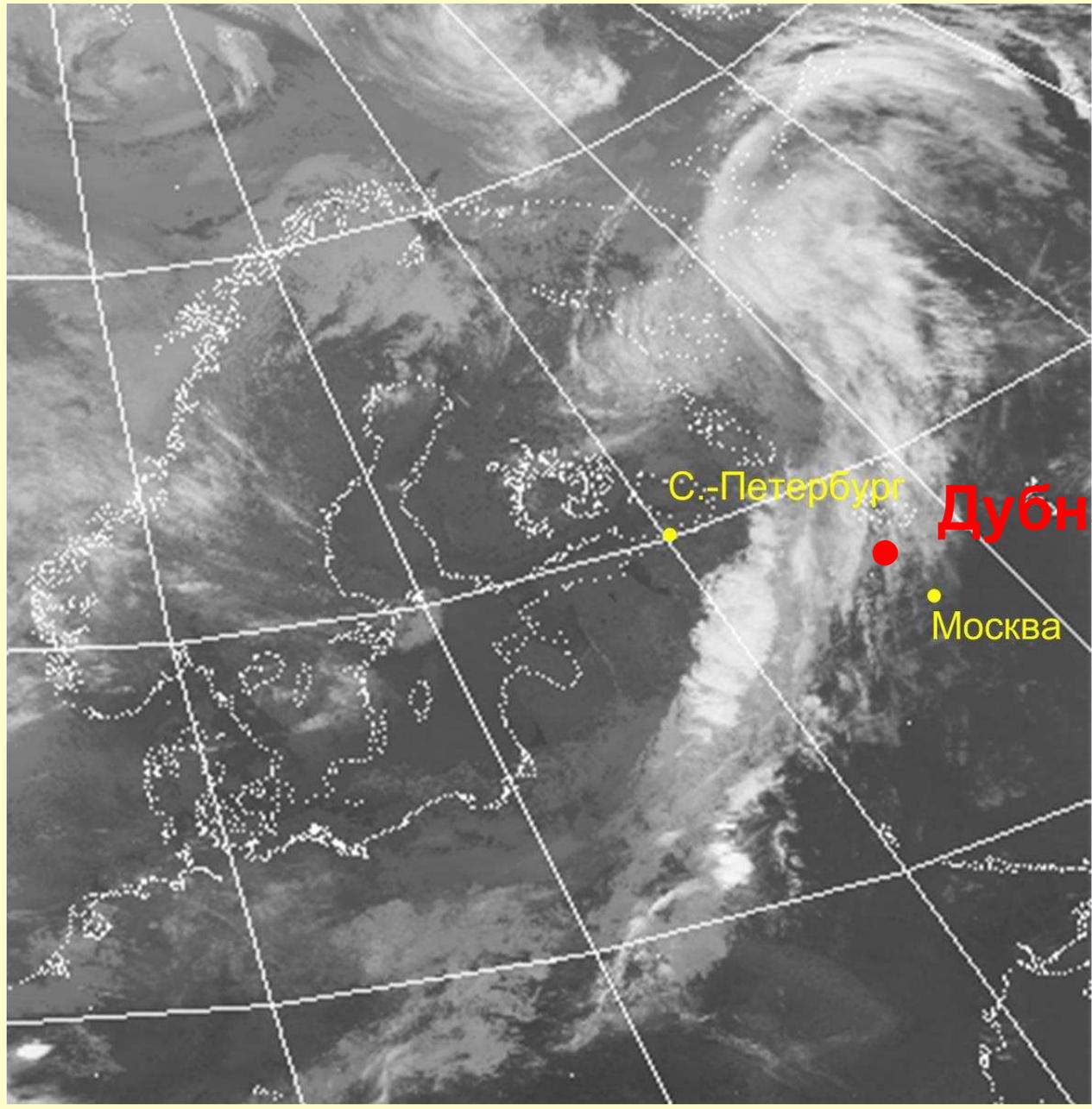
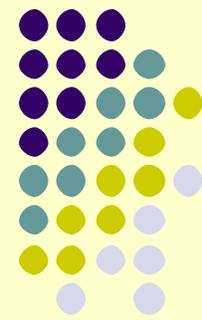


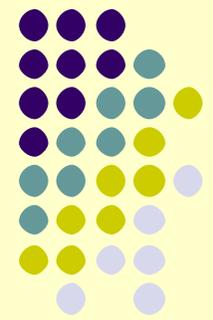
26/06/05 08:22

Мюонный мониторинг атмосферных явлений в период 23 – 27 июня 2005 г.



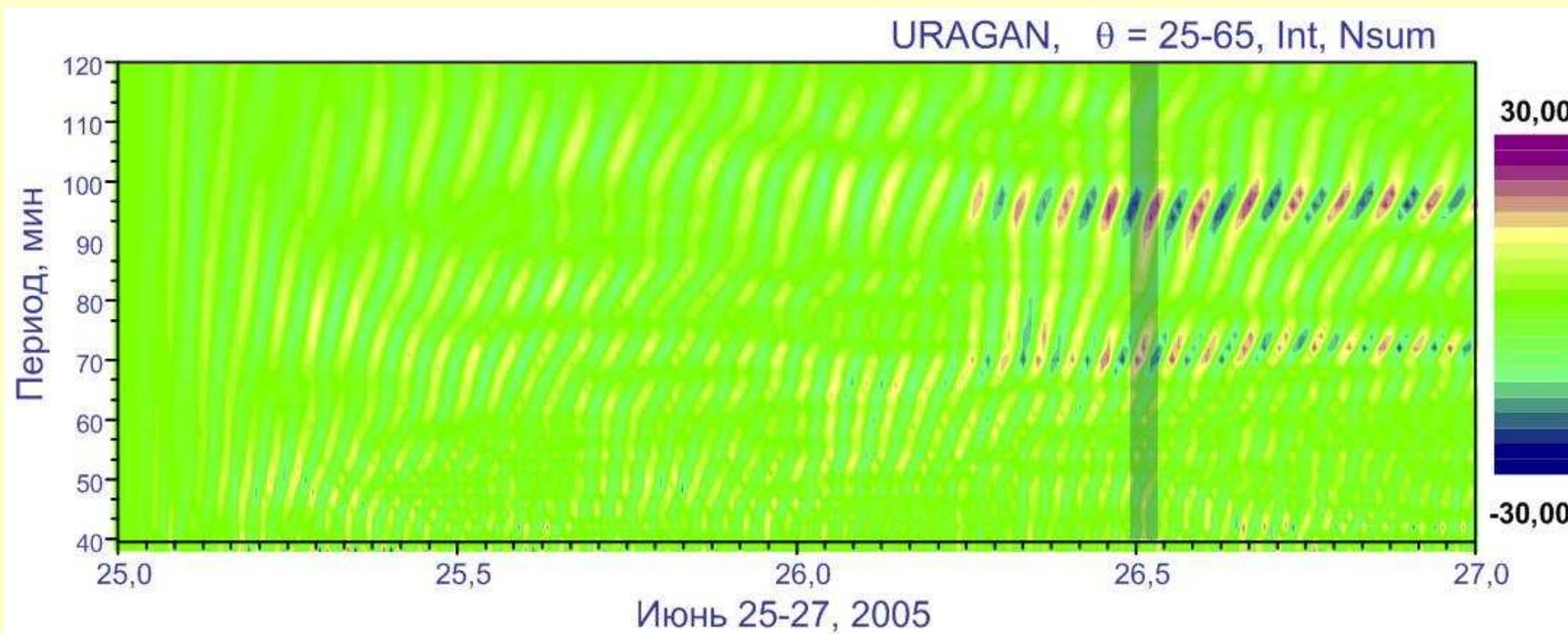
***Волновой процесс во время приближения
атмосферного фронта к Москве***



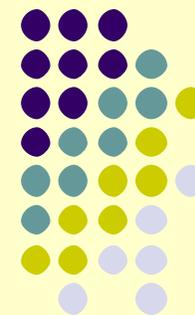




Анализ волновых процессов в потоке мюонов во время урагана в г.Дубна (26 июня 2005)

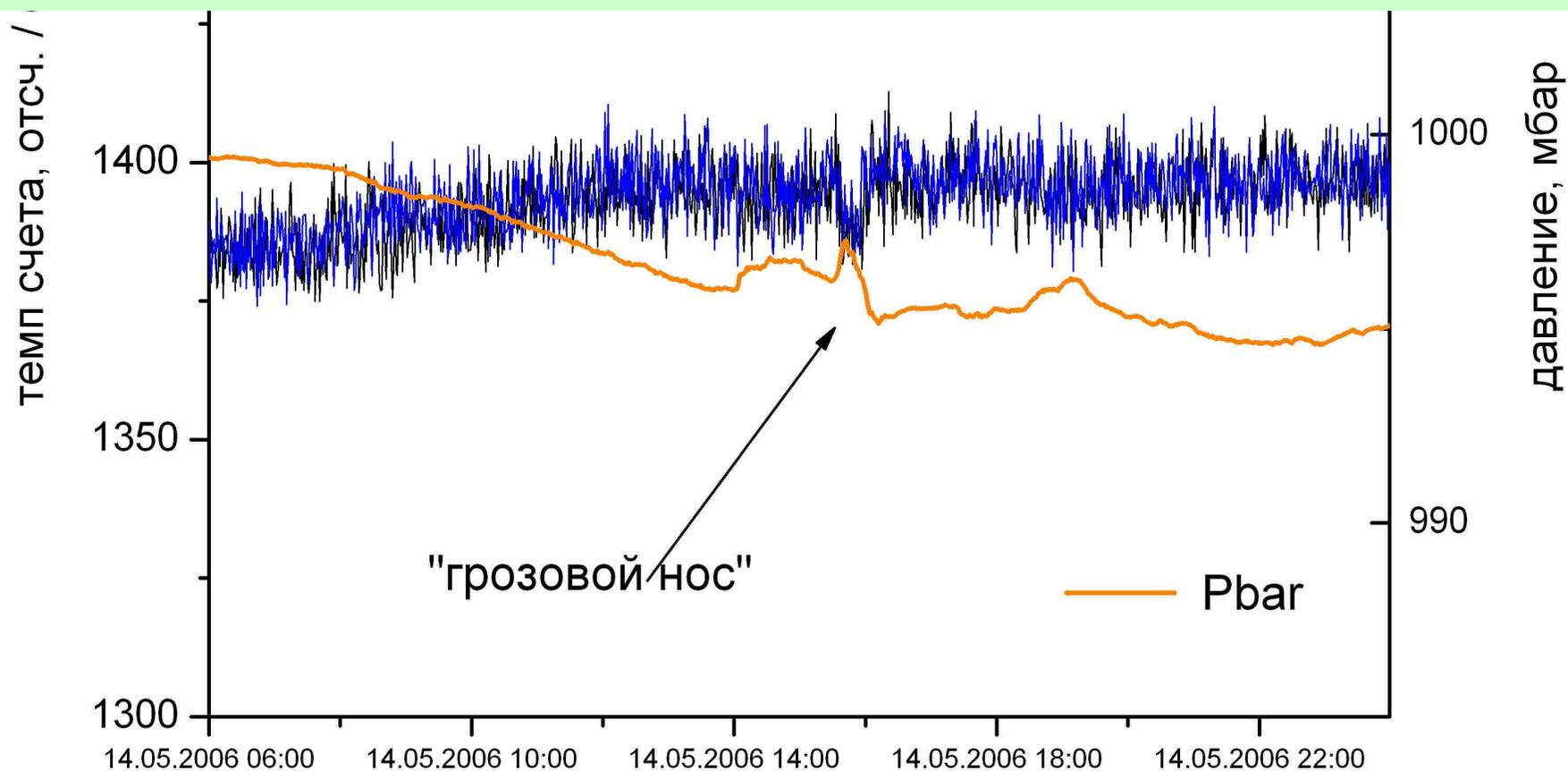


Хотя расстояние от МИФИ до Дубны составляет около **140 км**, в потоке мюонов наблюдаются квазипериодические модуляции, вызванные активными атмосферными процессами над Московским регионом



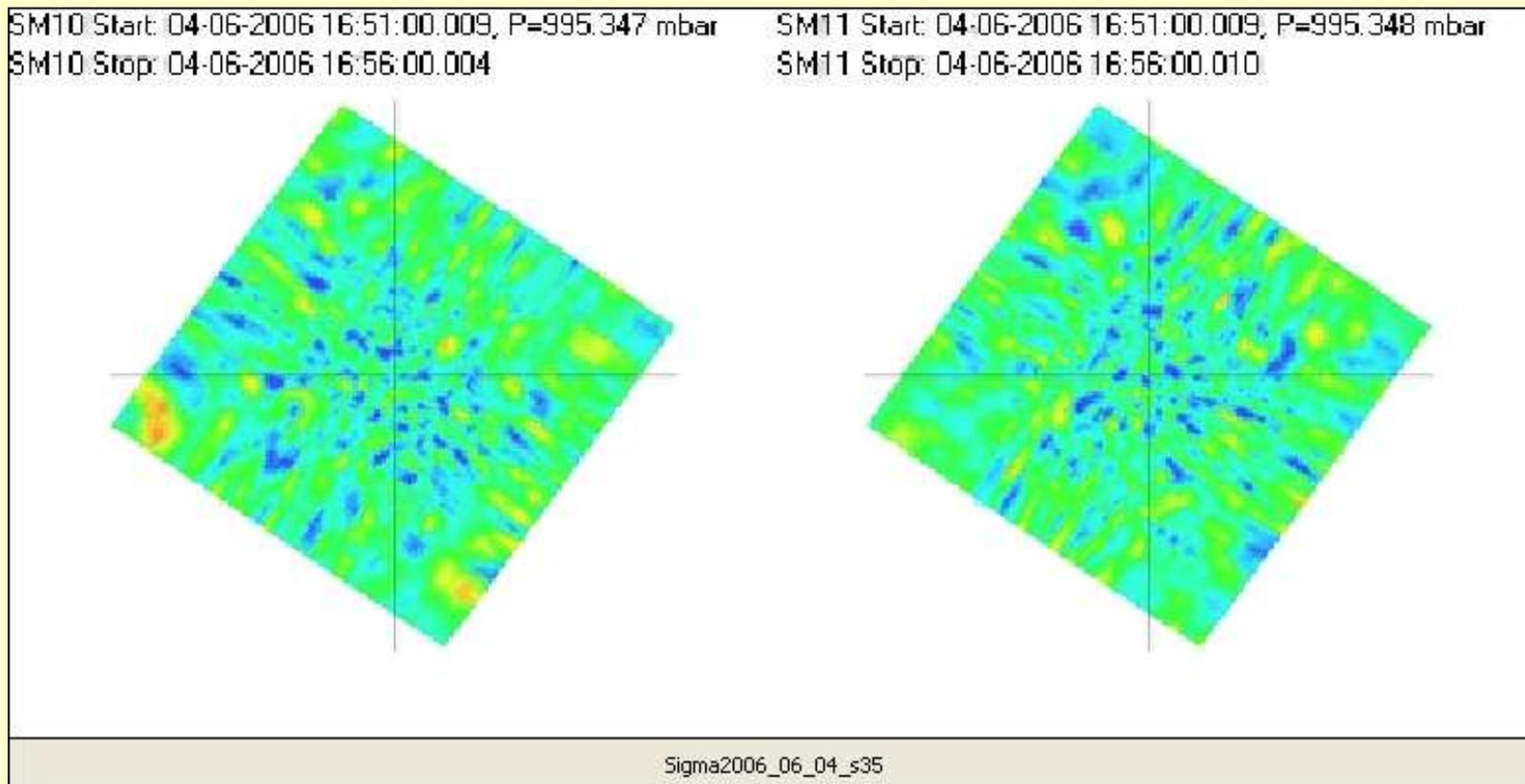
Исследование барометрического эффекта во время гроз

Значение барометрического коэффициента во время активных грозовых процессов в атмосфере составляет **-0,33 % / мбар** и значительно превышает значение для спокойного периода





«Мюонная съемка» небесной сферы



Начало грозы над Москвой: 20:10 (UTC)



Для заблаговременного обнаружения катастрофических природных явлений атмосферного происхождения, наряду с развитием существующих методов, необходимо создание новых подходов к дистанционному мониторингу атмосферы.

Мюонная диагностика – перспективный метод исследования атмосферных и внеатмосферных процессов, который позволит заблаговременно обнаруживать и прослеживать динамику развития аномальных явлений, контролировать состояние атмосферы над огромной территорией с помощью небольшого числа наземных станций.

Решение этой задачи возможно только на основе всестороннего подхода к вопросам взаимосвязи космических лучей и динамических атмосферных процессов.



Спасибо за внимание