

# Изменения относительной анизотропии потока мюонов во время ФП по данным МГ УРАГАН

Н.С. Барбашина, И.И. Астапов, В.В. Борог, А.Н. Дмитриева, К.Г. Компаниец, А.А. Петрухин, О.А. Ситько, В.В. Шутенко, Е.И. Яковлева, И.И. Яшин

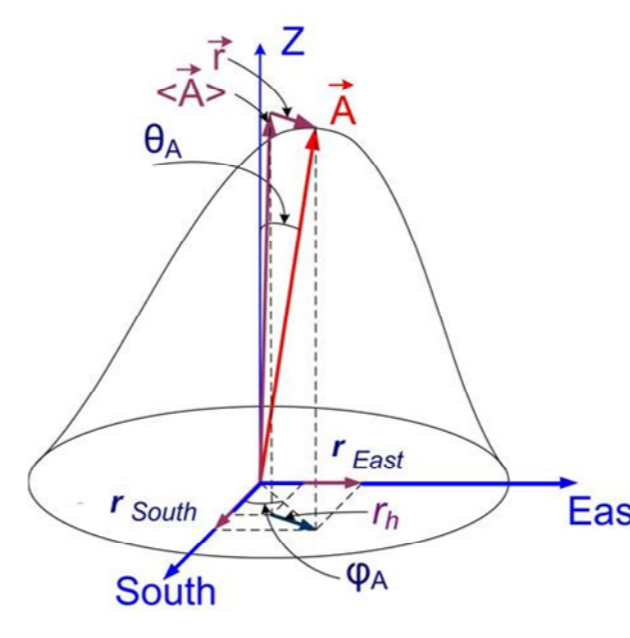
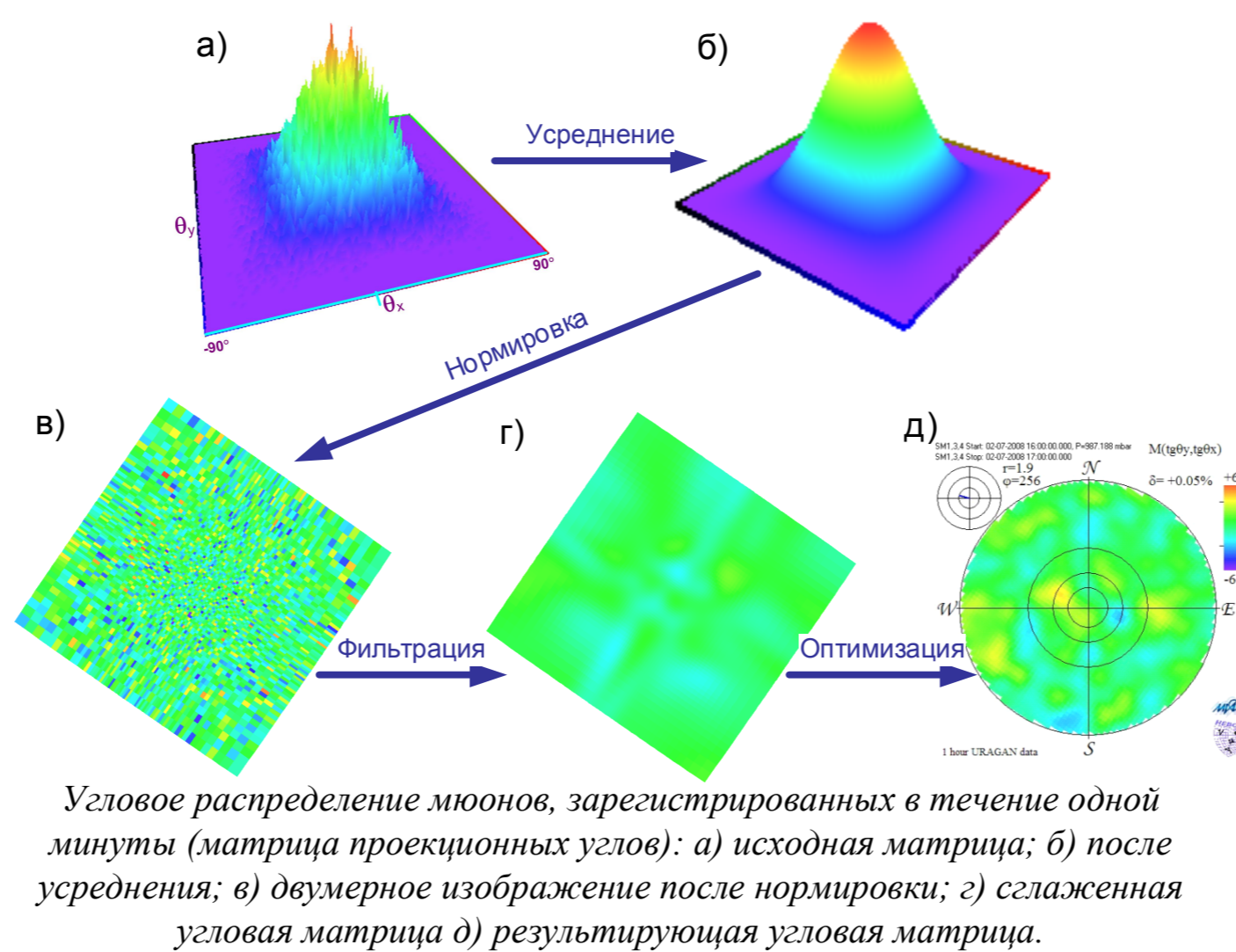
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ID: 134

## Экспериментальные данные и методика анализа

В НОЦ НЕВОД с 2006 года функционирует мюонный годоскоп УРАГАН, который состоит из 4-х супермодулей, обладающих высокой пространственной и угловой точностью регистрации мюонов. Каждую минуту один супермодуль годоскопа регистрирует и записывает в двумерные угловые матрицы около 80 тысяч мюонов. Для анализа вариаций интенсивности потока мюонов во время ФП используются часовые матрицы, усредненные по трем супермодулям. Статистическая обеспеченность таких матриц составляет около 5 млн. событий. Такой подход позволяет получать мюонные снимки (мюонографии), которые дают информацию о динамике увеличения или уменьшения интенсивности потока мюонов для различных пространственных углов. В работе анализируются ФП, зарегистрированные мюонным годоскопом УРАГАН в период с 2007 по 2012 год.

За этот период по интегральному темпу счета было выявлено 185 ФП, из них были отобрано 44 ФП с амплитудой > 0,5%, которые хорошо разделялись и не накладывались друг на друга. Для оценки амплитуды ФП использовались 10-минутные данные, скорректированные на температурный и барометрический эффекты. Для исследования относительной анизотропии потока мюонов использовались мюонные снимки и количественные параметры, описывающие их. Параметры относительной анизотропии анализировались на разных фазах развития ФП: до начала падения (не более 24 ч), падения, минимума и восстановления (не более 24 ч).



Для вычисления вектора локальной анизотропии потока мюонов  $\vec{A}$  наиболее удобной является матрица с размерами ячеек  $1^\circ$  по зенитному ( $\theta$ ) и  $4^\circ$  по азимутальному ( $\varphi$ ) углам. Проекция вектора анизотропии в локальной системе координат детектора в этом случае вычисляются следующим образом:

$$A_s(t) = \frac{1}{N_0(t, \Delta t)} \sum_{\theta, \varphi} N_0(\theta, \varphi, t, \Delta t) \cdot \cos\varphi \cdot \sin\theta$$

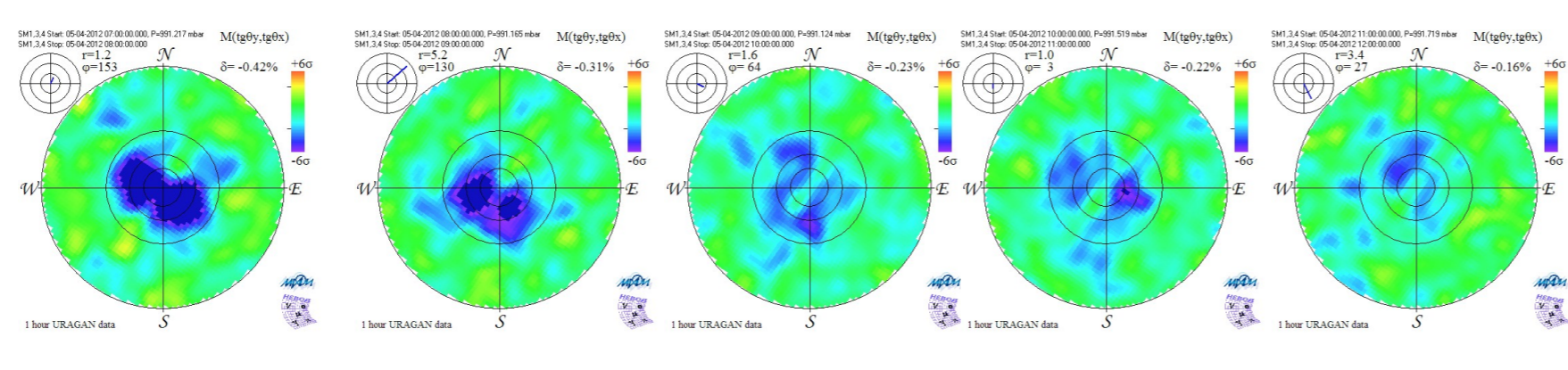
$$A_e(t) = \frac{1}{N_0(t, \Delta t)} \sum_{\theta, \varphi} N_0(\theta, \varphi, t, \Delta t) \cdot \sin\varphi \cdot \sin\theta$$

Для исследования отклонений от среднего направления вектора анизотропии удобно использовать вектор относительной анизотропии  $\vec{r}$  – трехмерный вектор и его проекции на юг и запад.

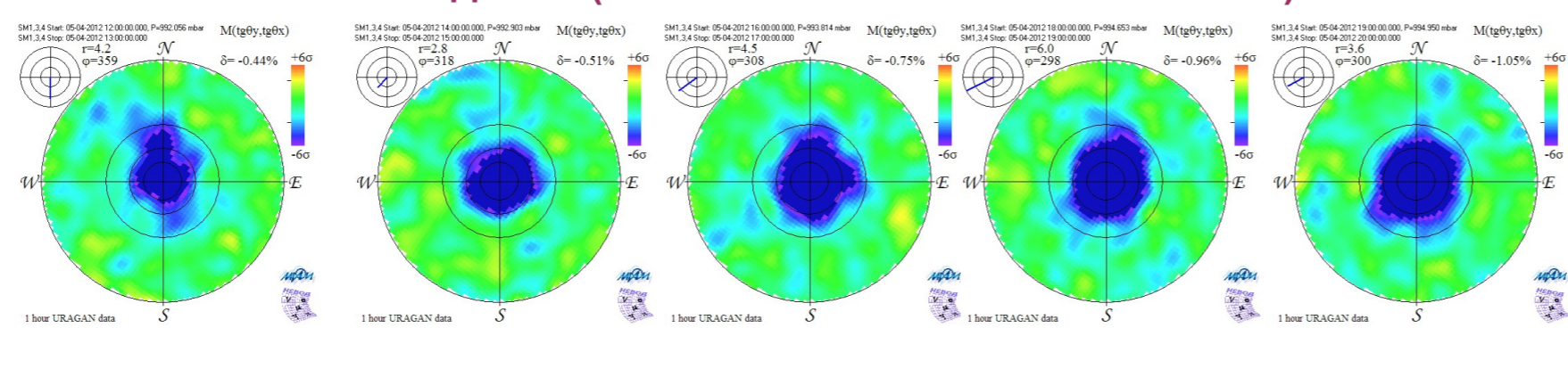
$$r_s = A_s - \langle A_s \rangle \quad \text{и} \quad r_e = A_e - \langle A_e \rangle$$

## Пример и результаты анализа изменений относительной анизотропии потока мюонов Форбуш-понижение 5 апреля 2012 года

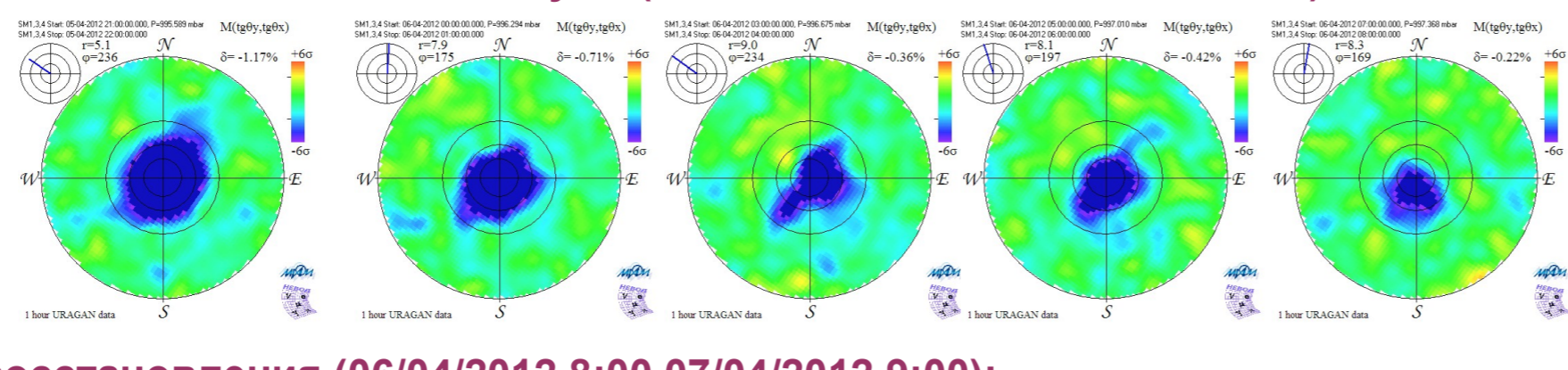
До начала форбуш-понижения (05/04/2012 06:00 05/04/2012 11:00):



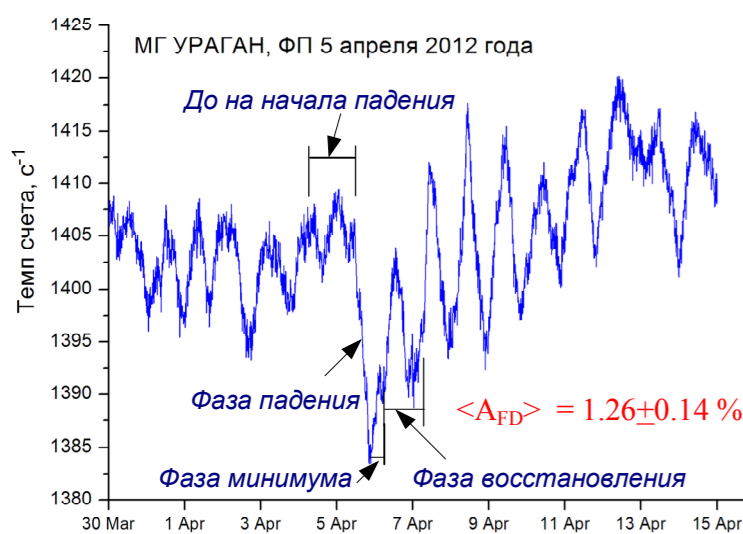
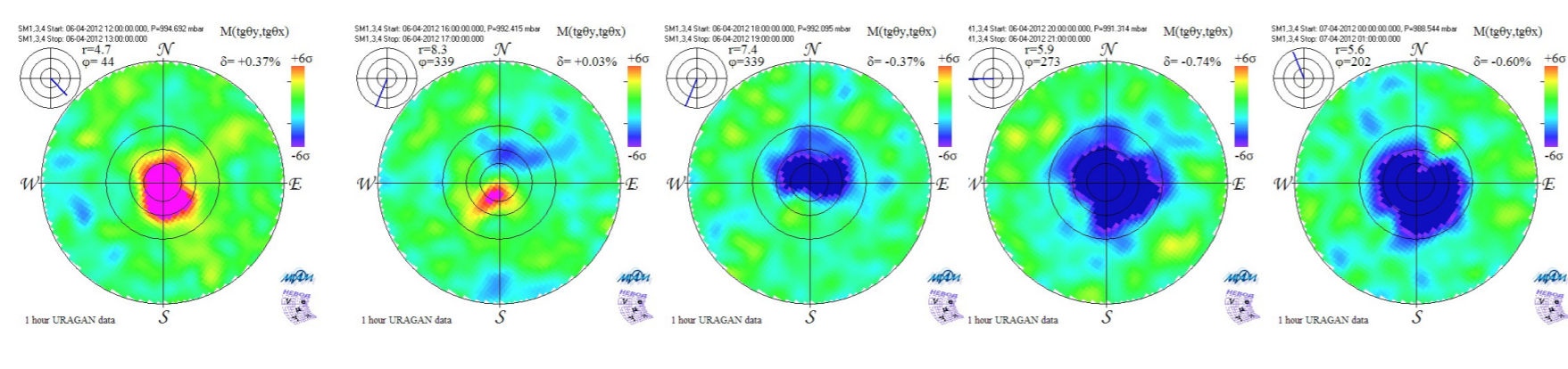
Фаза падения (05/04/2012 12:00 05/04/2012 19:00):



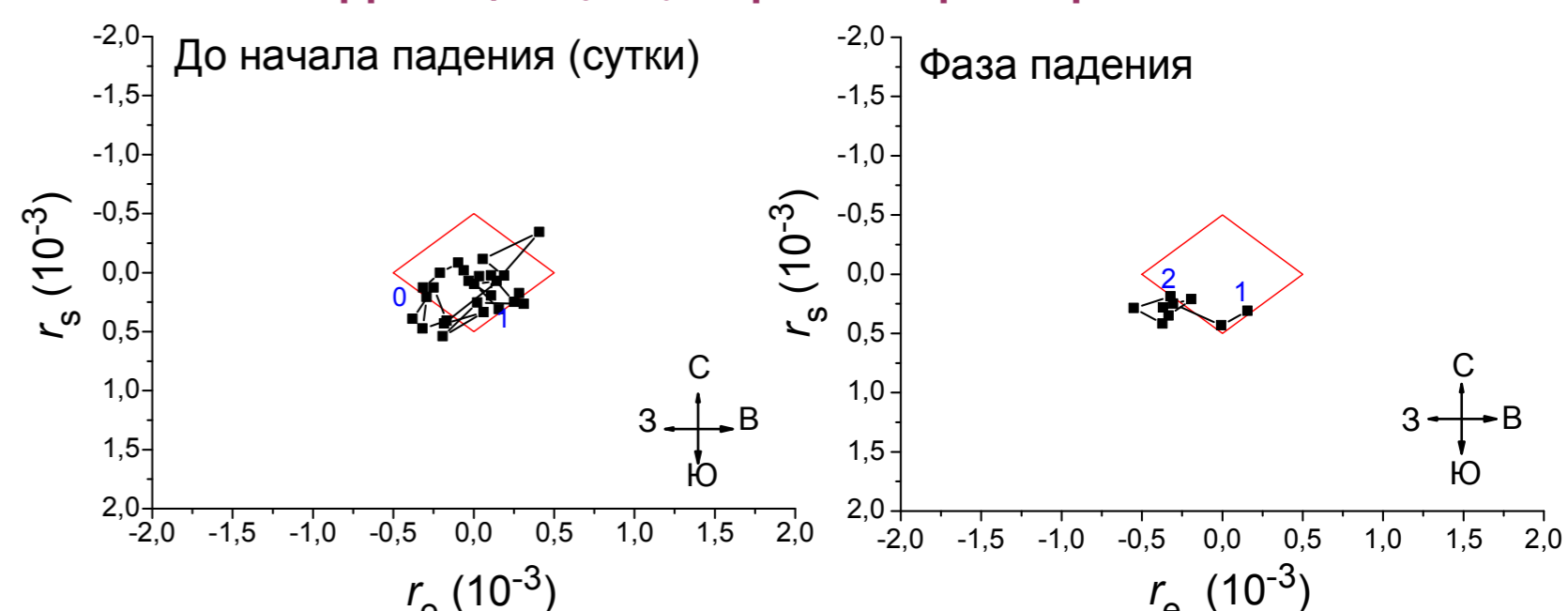
Фаза минимума (05/04/2012 20:00 06/04/2012 7:00):



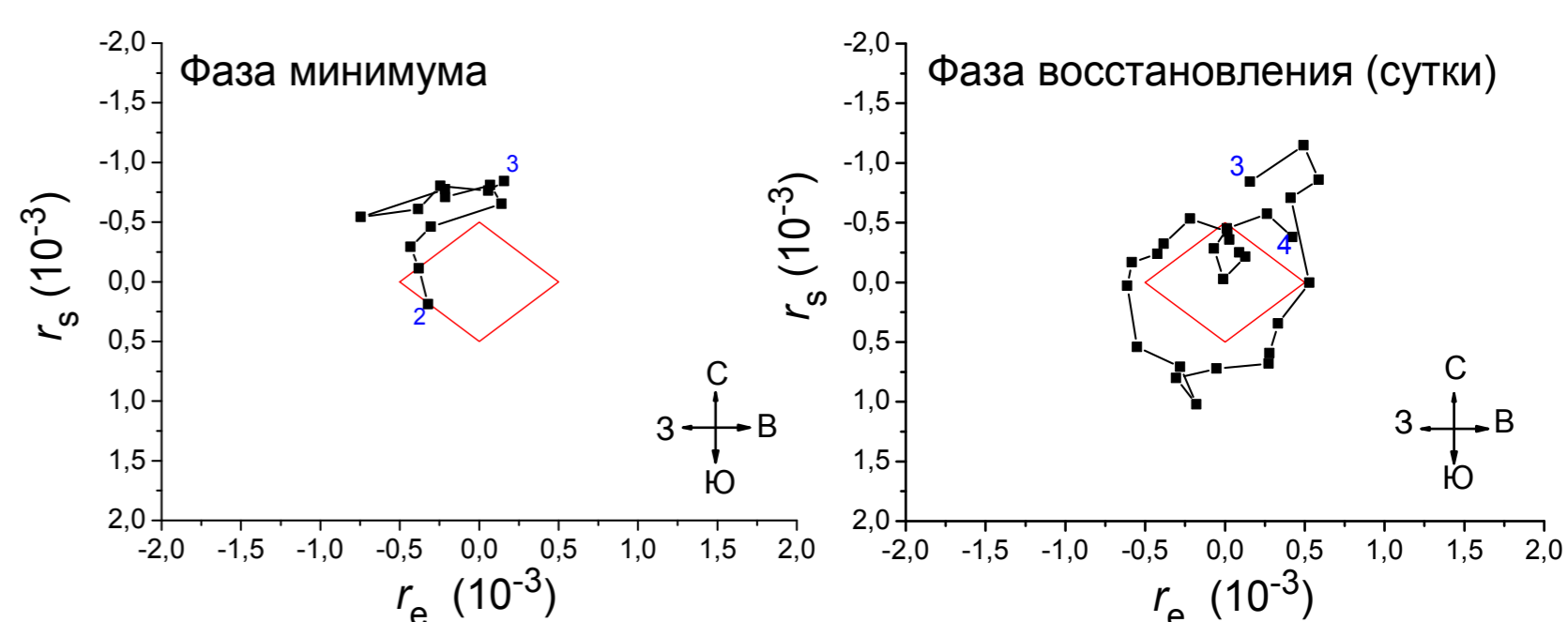
Фаза восстановления (06/04/2012 8:00 07/04/2012 9:00):



Корреляции  $r_s$  и  $r_e$  на разных фазах развития ФП

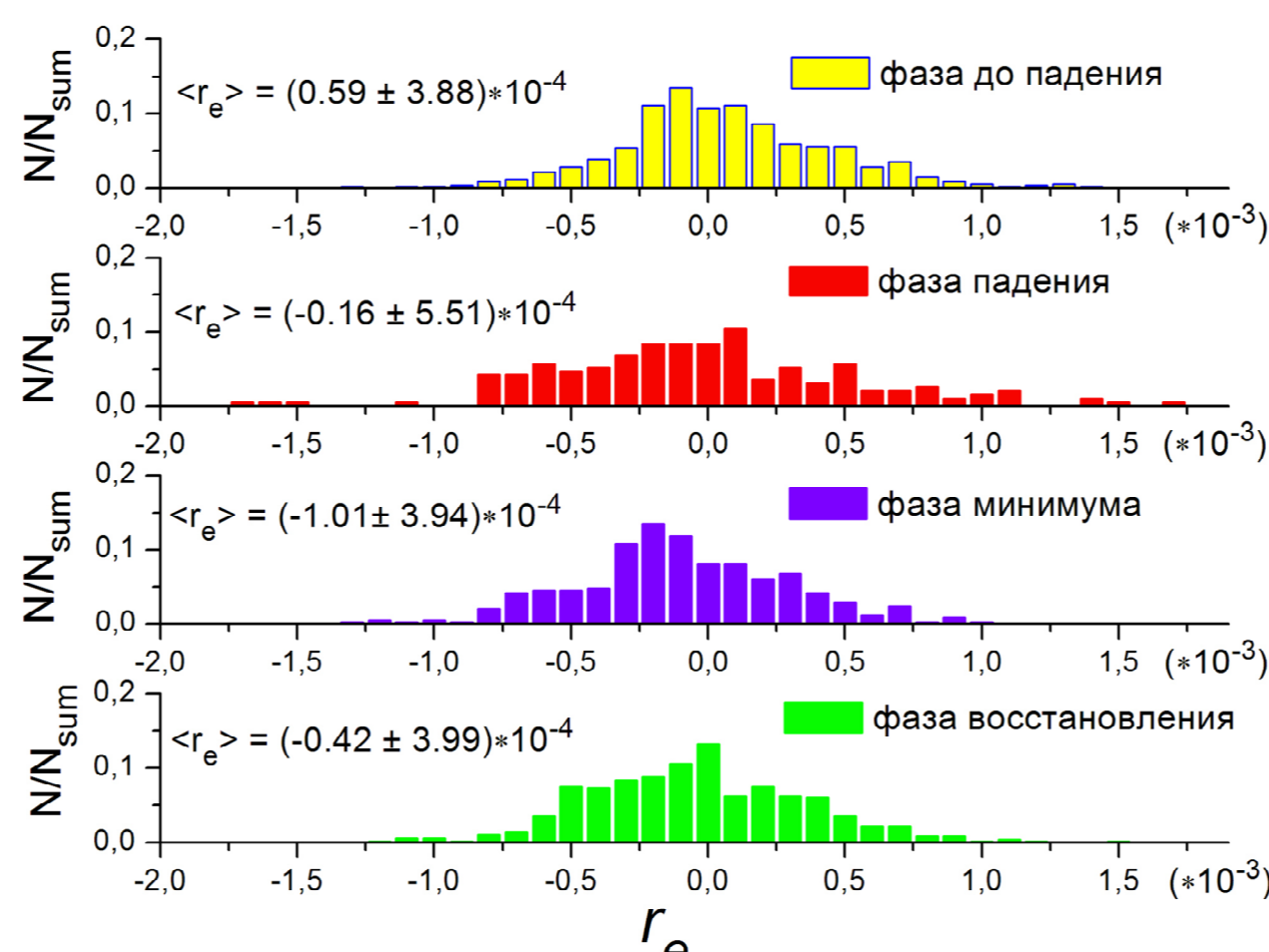
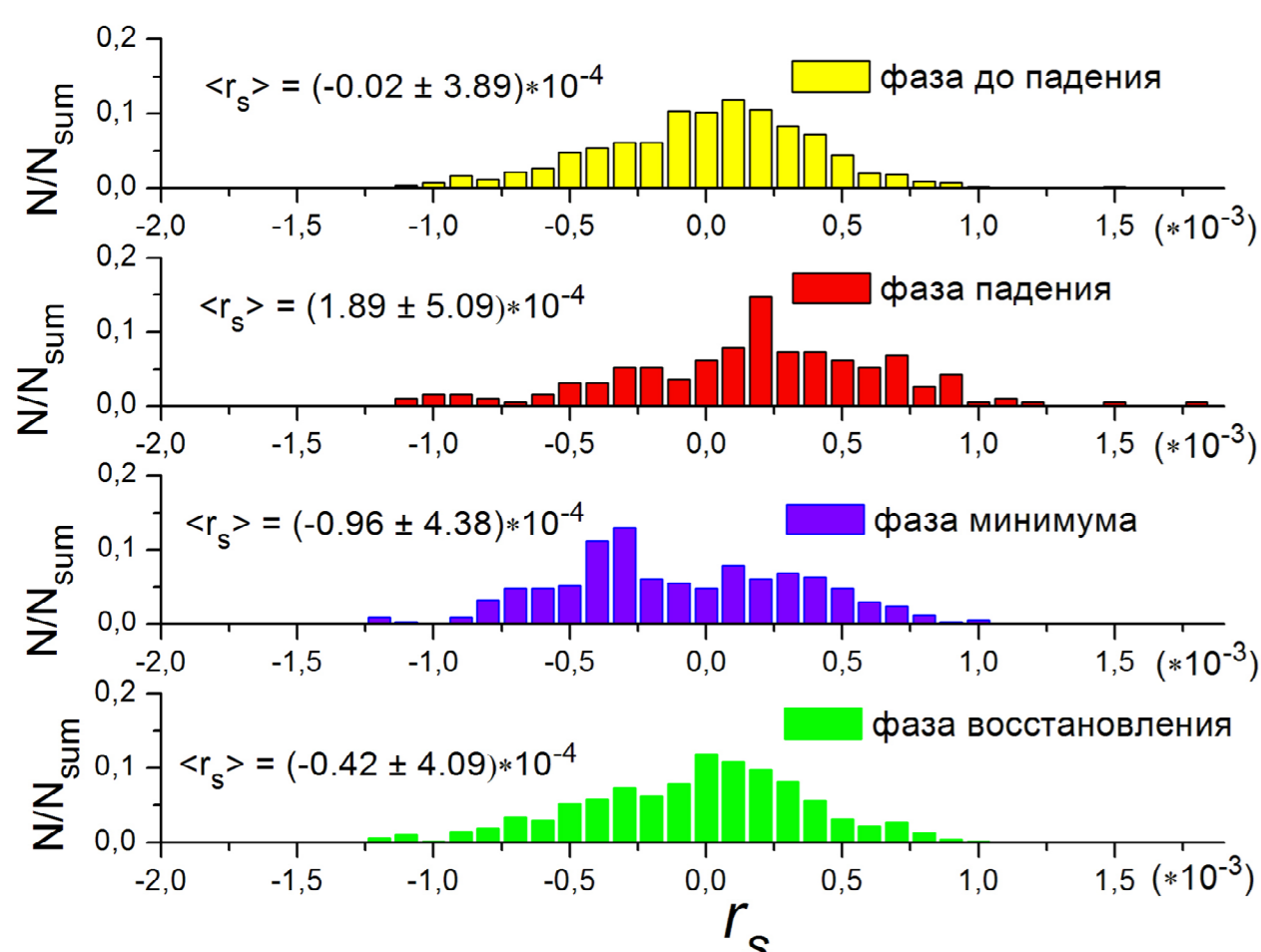


Красный ромб на графиках - пределы изменений  $r_s$  и  $r_e$  в спокойный период. Векторы  $r_s$  и  $r_e$  указывают на максимум потока мюонов, следовательно, минимум с противоположной стороны.



Проекция векторов  $r_s$  и  $r_e$ , рассчитаны в географических координатах. Для первичных протонов (с учетом асимптотических направлений) географическое направление с Севера на Юг соответствует асимптотическому направлению с Востока на Запад, а с Запада на Восток – с Юга на Север, соответственно.

Такой анализ был проведен для всех 44 ФП, который показал, что относительная анизотропия, превышающая изменения в спокойный период, присутствует на всех фазах в 12 ФП, на трех – в 11 ФП, на двух – в 7 ФП, на одной – в 6 ФП, и в 8 ФП – отсутствует на всех фазах. Исследования каждой фазы отдельно показало, что относительная анизотропия наблюдается: в период до ФП – в 15 из 44 ФП, на фазе падения – в 16 ФП, на фазе минимума – в 16 ФП, и на фазе восстановления также в 16 ФП. Для исследования закономерностей в поведении относительной анизотропии по географическим направлениям с Севера на Юг и с Запада на Восток, были построены распределения значений параметров  $r_s$  и  $r_e$  для всех 4-х фаз, когда наблюдалась относительная анизотропия, превышающая изменения в спокойный период.



Распределения значений параметров  $r_s$  и  $r_e$  до начала ФП являются симметричными и лежат в диапазоне от -1 до 1 ( $10^{-3}$ ). На фазе падения для обоих параметров наблюдается диапазон более широкий:  $r_s$  (-1,0 – 2,0 $10^{-3}$ ), а  $r_e$  (-1,7 – 1,7 $10^{-3}$ ), при этом значения  $r_s$  явно смещены в направлении на Юг. Это означает, что минимум потока мюонов наблюдался с Севера, который соответствует асимптотическому направлению Востоку. На фазе минимума  $r_s$  (-1,2 – 1,0 $10^{-3}$ ) и  $r_e$  (-1,2 – 1,0 $10^{-3}$ ), при этом средние значения совпадают. На фазе восстановления параметры относительной анизотропии также симметричны.

## Заключение

Таким образом, на стадии падения темпа счета относительная анизотропия потока мюонов возрастает в географическом направлении с Севера на Юг, в то время как на стадии минимума, а также на стадиях до начала падения и восстановления она остается симметричной.

**Благодарности.** Работа выполнена в Научно-образовательном центре НЕВОД при поддержке Министерства образования и науки РФ (RFMEFI59114X0002) и гранта ведущей научной школы НШ-4930.2014.2.